த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—699

அணுக்கருவியல்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

டாக்டர் இரா. சபேசன், எம்.ஏ., எம்.எஸ்சி., பிஎச்.டி.,

தலைமைப் பேராசிரியர், இயற்பியல் துறை,

தேசியக் கல்லூரி,

திருச்சிராப்பள்ளி.



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—April, 1976

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 699

NUCLEAR PHYSICS

DR. R. SABESAN

Price Rs. 7-80

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

Printed out of the paper allotted by the Government of India.

Printed by
BHAGAT PRINTERS,
407, M. K. N. Road,
Alandur, Madras-600 016.

பதிப்புரை

'அணுக்கருவியல்' என்ற இந் நூல், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 699ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 734 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்'தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

பொருளடக்கம்

1. புதுமை இயற்பியலில் சில விளக்கங்கள்

1.1 முன்னுரை

அறிவியல் என்பது ஒரு முடிவிலா வழிப் பயணம். இயற்கை நம்மை ஆள்வதைத் தவிர்த்து நாம் இயற்கையின் மீது ஆட்சி செலுத்தும் வரம்பெல்லையை நீடித்துக்கொள்ளும் முயற்சிதான் அறிவியலாராய்ச்சி ஆகும். அறிவியலாளர்களால், துருவி ஆய்ந்தறியப்பட்ட இயற்கையின் இயல்புகள் உயிரியல், இயற்பியல் என்ற இரு பெரும் பிரிவுகளாகவும், ஒவ்வொன்றும் மேலும் பல கிளைப் பிரிவுகளாகவும் அமைகின்றன. இயற்பியலில் இயற்கையின் பாற்பட்ட பொருள் (Matter), ஆற்றல் (Energy), இடம் (Space), காலம் (Time) முதலியன பற்றிய நுட்பங்கள், அவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்புகள் இவைபற்றிய உண்மைகள் எடுத்துரைக்கப் பெறும். இயற்பியல் ஆய்வில் சென்ற நூற்றுண்டின் இறுதியிலிருந்து கடந்த எழுபத்தைந்து ஆண்டுகளில் ஏற்பட்ட வியத்தகு வளர்ச்சி, மனித குல நாகரிகத்தில் பெரும் புரட்சியையே தோற்றுவித்திருக்கிறது. இன்றைய இயற்பியல் மூலக்கூறு இயற்பியல் (Molecular Physics), அணு இயற்பியல் (Atomic Physics), எலக்ட்ரான் இயற்பியல் (Electron Physics), கொள்கைசார் இயற்பியல் (Theoretical Physics), அணுக்கரு இயற்பியல் (Nuclear Physics) எனப் பலவாறுக வளர்ச்சி பெற்று விளங்குகிறது. இந்நூலில், அணுக்கரு இயற்பியலின் தோற்றமும் வளர்ச்சியும், இந்த இயல்-ஆய்வுகளின் பலனுக மனித குலத்திற்குக் கிட்டும் வளங்களும் கோடிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அணுக்கருவியலில் ஏற்பட்டிருக்கும் முன்னேற்றம், ஒரு சுவை மிக்க வரலாறு என்ருல் அந்த வரலாறு அமைந்த காரணமே, இயற்பியலில் மற்றத் துறைகளில் ஏற்பட்ட வளர்ச்சியை அடிப்படையாகக் கொண்டதுதான். எனவே, அணுக்கருவியலைச் சிறப்

பாகப் பயில அது வளர்வதற்குக் காரணமான சில முக்கியமான இயற்பியல் ஆய்வுகளையும் அவற்றின் முடிவுகளையும் பற்றிய சில விளக்கங்களைப் படிப்பது இன்றியமையாததாகிறது. எனவே, இவ் வத்தியாயத்தில் அவ்வாறான சிலவற்றைச் சுருக்கமாகக் காண்போம்.

1.2 ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் கொள்கை (Einstein's Theory of Relativity)

ஒளி ஆற்றல், ஒருவகை அலைகளாகப் பரவுகிறது என்ற கொள்கையை முன்வைத்து அந்த அலை வெற்றிடத்தில் பரவ முடியாதாகையால், ஈதர் என்ற கற்பனை ஊடகத்தில் இயங்குவதாகக் கொண்டு ஒளியின் இயல்புகளை விளக்கமுடியும் என்று ஹைஜயன் (Huygens) என்ற டச்சு நாட்டு விஞ்ஞானி 1684-ல் எடுத்துரைத்தார். ஈதர் என்ற புனை ஊடகம் இருக்கிறதா என்ற முயற்சியில் பல விஞ்ஞானிகள் ஈடுபட்டனர். மைக்கேல்ஸன், மார்லி (Michelson & Morly) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும் ஈதரில் ஒளி அலைகள் வெவ்வேறு திசைகளில் செல்லும்போது ஏற்படக் கூடிய குறுக்கீட்டு விளைவுகளை ஆய்ந்து, ஒளியின் வேகம் எத்திசையிலும் ஈதர் என்ற புனை ஊடகத்தின் பண்புகளைச் சார்ந்து இராமல் ஒரு 'சார்பற்ற இயக்கமாக' இருப்பதைக் கண்டார்கள். ஈதர் என்ற ஒன்று இருக்கின்றதா? என்ற கேள்விக்கே இது வித்திட்டது. அப்போது ஈதர் என்ற ஒன்றின் உதவியின்றியே பருப்பொருள், அலை இவைகளின் இயக்கங்களை நன்கு விளக்க முடியும் என்று ஐன்ஸ்டீன் காட்டினார். சார்பற்ற மெய்க்காலம் (absolute time), சார்பற்ற மெய்வெளி (absolute space) என்பவை இருக்க முடியாது என்பதே அவரது கொள்கையின் சாரமாகும். அவர் கூற்றுப்படி 'காலம்' என்பது ஒரு குறிப்பு ஆயத்திலுள்ள (frame of reference) ஒரு நோக்குநருக்கும் மற்றோர் ஆயத்திலுள்ளவருக்கும் வேறுபடும் தன்மை கொண்டது. அதாவது காலமும் இயக்கச் சார்புடையதே. இயங்கும் ஓர் அமைப்பில் இருக்கும் ஒருவரால் சார்பற்ற இயக்கத்தை அளக்கவே முடியாது என்றும், ஒளியின் வேகம் அதன் தோற்றுவாய்க்கும் நோக்குநருக்கும் இடையேயுள்ள சார்பு இயக்கத்தைப் பொறுத்தது அன்று என்றும் இரண்டு அடிக் கொள்கைகளைக் கொண்டு சார்பியலின் பின்வரும் அடிப்படைச் சமன்பாடுகளைக் கண்டார்.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{1·1}$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (1 \cdot 2)$$

இதில் (x, t) என்பன, ஒரு நிகழ்ச்சி நடக்கும் இடத்தை, ஒரு குறிப்பு ஆயத்திலிருந்து (s) குறிப்பிடப்படும் ஆயத்தொலைவு என்றும், (x', t') என்பன, இந்தக் குறிப்பு ஆயத்தைப் பொறுத்து, x திசையில் v வேகத்தில் செல்லும், மற்றோர் ஆயத்திலிருந்து (s') அதே நிகழ்ச்சியைக் குறிப்பிடும் ஆயத் தொலைவுகள் என்றும் குறிப்பிடலாம். c என்பது ஒளியின் வேகம் $v << c$ என்றால், $x' = x - vt$, $t' = t$ என்று முதுபழங்கொள்கைக்கு ஏற்பச் சமன் $(1 \cdot 1)$, $(1 \cdot 2)$ அமைகின்றன.

சார்பியல் கொள்கையின் மற்றொரு முக்கியமான முடிவு, பொருளின் நிறையும் இயக்கச் சார்பற்றது அன்று என்பதே. ஒரு பொருளின் ஓய்வுநிலை நிறை (அதாவது குறித்த ஆயத்தில் பொருளின் வேகத்திலேயே செல்லும் ஒருவர் கண்ட நிறை) m_0 என்றால் பொருளைப் பொறுத்து v வேகத்தில் செல்லும் ஒருவர் அளவிடும் அதே பொருளின் நிறை

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (1 \cdot 3)$$

என இருக்கும். எனவே 'v' அதிகமாக, அதிகமாகப் பொருளின் நிறையும் அதிகமாவது போலத் தோன்றும்.

ஐன்ஸ்டீனின் மற்றொரு முக்கியக் கண்டுபிடிப்பு நிறை-ஆற்றல் தொடர்பே ஆகும். m கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல்,

$$E = mc^2 \qquad (1 \cdot 4)$$

ஆகும். எனவே m_0 ஓய்வுநிலை நிறை கொண்ட பொருளின் ஆற்றல் $E_0 = m_0 c^2$ ஆகும். மேலும் ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றல்

$$E = \text{இயக்க ஆற்றல் } (T) + \text{ஓய்வுநிலை ஆற்றல் } (E_0)$$

$$\therefore \text{இயக்க ஆற்றல் } T = E - E_0$$

$$= (m - m_0)\, c^2 \qquad (1.5)$$

$$T = m_0 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right] c^2 \qquad (1.6)$$

திசைவேகம் 'v' ஒளியின் வேகம் 'c' ஐ விட மிகக் குறைவானால், இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} m_0 v^2$ என்ற முதுபழங் கொள்கைக்கேற்பச் சமன்பாடு (1·6) அமைகிறது. மேலும் P உந்தமுடைய ஒரு பொருளின் மொத்த ஆற்றலைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்:

$$E^2 = P^2 c^2 + m_0^2 c^4 \qquad (1.6a)$$

1.3 பிளாங்கின் குவான்டம் கொள்கை (Planck's Quantum Theory)

முதுபழங் கொள்கையின் அலைக் கொள்கைப்படி, ஒரு கரும் பொருளிலிருந்து குறிப்பிட்ட ஓர் அலை நீளத்தில் வீசும் கதிர்களின் மொத்த ஆற்றலைக் கணக்கிட்டால், அது செய்முறைச் சோதனை களின் மூலம் கிடைக்கும் முடிவுக்கு முரண்பாடான முடிவுகளைத் தருவதை ராலே (Rayleigh), ஜீன்ஸ் (Jeans) போன்ற விஞ்ஞானிகள் கண்டறிந்தனர். கதிர்வீச்சு என்பதே அலையியக்கமாக மட்டும் இல்லாமல், தனித்தனியான சிறு சிறு ஆற்றல் குவான்டங்களாக வீசுகின்றது என்று கொண்டால், இந்த முரண்பாடு முற்றிலும் மறைந்துவிடுகிறது என்பதை பிளாங்க் (Max Planck) கண்டுரைத் தார். பிளாங்கின் கொள்கைப்படி, வீசும் ஒவ்வோர் ஒளிக் குவான் டத்தின் ஆற்றலும், அதன் அதிர்வெண்ணுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

$$E \propto \nu$$

$$\therefore \quad E = h\nu \qquad (1.7)$$

h — பிளாங்க் மாறிலி.

h-ன் மதிப்பு $6 \cdot 63 \times 10^{-34}$ J.S. ..

குவான்டம் கொள்கையைக் கொண்டு, பல புதிய இயற்பியல் விளைவுகளுக்கு விளக்கம் காணலாம் என்று நிரூபிக்கப்பட்டது.

1.4 ஒளி-மின் விளைவு (Photo Electric Effect)

குவாண்டம் கொள்கையால் விளக்கம் பெற்ற விளைவுகளில் இது முக்கியமான ஒன்றாகும். ஒளிக் கதிர்கள் உலோகப் பரப்பு ஒன்றின்மேல் தாக்கினால், அந்த உலோகப் பரப்பிலிருந்து எலக்ட் ரான்கள் வெளிவருகின்றன. இதையே ஒளி-மின் விளைவு என் கிறோம். ஆயினும் இந்த ஒளி-மின் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல், ஒளிமின் செறிவைப் பொறுத்திருப்பதில்லை. மாறாகக் குறிப்பிட்ட உலோகப் பரப்பிலிருந்து, எலக்ட்ரான்கள் வெளி வீச, தாக்கும் கதிர்கள் ஒரு பயன் தொடக்க அதிர்வெண் (Threshold frequency)

பெற்றிருக்க வேண்டும். பிறகு இந்த ஒளி-மின் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல், உலோகப்பரப்பைத் தாக்கும் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண்ணுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. இதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

ஒளி-மின் எலக்ட்ரானின்
இயக்க ஆற்றல் $(K.E.) \propto (\nu - \nu_0)$ (1.8)

ν_0 – பயன் தொடக்க அதிர்வெண்

ν – வீசுகதிரின் அதிர்வெண்

பிளாங்கின் குவான்டம் கொள்கையைக் கொண்டு இந்த ஒளிமின் விளைவை விளக்க முடியும் என்று ஐன்ஸ்டீன் காட்டினார். ஒளி, சிறு குவான்டமாக வீசப்படுவது மட்டுமன்றி, அவ்வாறே ஊடகங்களில் செல்கிறது என்றும் கொள்ளலாம். இதை ஒளி ஃபோட்டான்கள் என்கிறோம். எலக்ட்ரானை அதன் பிணைப்பிலிருந்து வெளியேற்றத் தேவையான ஆற்றலைக் குறிப்பதே பயன் தொடக்க அதிர்வெண்ணாகும் என்றார் ஐன்ஸ்டீன்.

சமன்பாடு (1.8)ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$K.E \propto (\nu - \nu_0)$$

$$\therefore \quad K.E = h(\nu - \nu_0)$$

$$= h\nu - h\nu_0$$

$$\therefore \quad h\nu = KE + h\nu_0 \qquad (1.9)$$

$h\nu$ என்பது பிளாங்க் கொள்கைப்படி வீசுகதிரின் மொத்த ஆற்றல். எனவே, வீசுகதிரின் மொத்த ஆற்றலின் $(h\nu)$ ஒரு பகுதி, எலக்ட்ரானை அதன் பிணைப்பிலிருந்து விடுவிக்கவும் $(h\nu_0)$, எஞ்சிய பகுதி விடுவிக்கப்பட்ட ஒளி-மின் எலக்ட்ரானுக்கு இயக்க ஆற்றலைத் தரவும் செலவழிக்கப்படுகிறது என்று தெரிகிறது.

1.5 தொடர்மாலை எக்ஸ்-கதிர்கள் (Continuous X-rays)

எங்ஙனம் ஒளி ஃபோட்டான்கள் தன் ஆற்றலைப் பரிமாற்றம் செய்து எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றக் கூடுமோ அதுபோல ஆற்றல் மிகு எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டு பருப்பொருள்களைத் தாக்கி அவற்றின் ஆற்றலை ஒளி ஃபோட்டான்களாக மாற்ற

முடியும். முதன் முதலில் 1895ஆம் ஆண்டு ராண்ட்ஜன் (Rontgen) என்ற விஞ்ஞானியால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்கள் தோன்றுவதற்கு இந்த விளைவுதான் அடிப்படை. பருப்பொருளின் மீது தாக்கும் எலக்ட்ரான்கள் எத்துணை இயக்க ஆற்றல் கொண்டிருக்கிறதோ, அத்துணை ஆற்றலுடன் எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிவீசப் படும். எக்ஸ் - கதிர்களும் மின்காந்த அலைகளே என்பதும், அவற்றின் ஆற்றலையும் $h\nu$ (ν—X-கதிர்களின் அதிர்வெண்) என்று பிளாங்க் கொள்கைப்படி குறிப்பிட முடியும் என்றும் தெரிகிறது. எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளம், புற ஊதா அலை நீளத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். தாக்கும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றமடைந்தாலும், எஞ்சிய பெரும் பகுதி இலக்குத் தனிமத்தின் அணுக்களுடன் மோதலுற்று ஃபோட்டான்களாக வெளிப்படுகிறது. எனவே, எக்ஸ்-கதிர் வீச்சு விளைவு ஓர் ஒளி மின் விளைவின் மாறுதலை என்று கொள்ளலாம். ஆகவே, தொடர் ஆற்றல் மாலையாக வெளிப்படும் எக்ஸ்-கதிர்களின் பெரும அதிர்வெண் ν_{max} என்றால் அந்தக் கதிர்களின் பெரும ஆற்றல் $h\nu_{mat}$ ஆகும். எனவே, இந்த ஆற்றல்தான், எலக்ட்ரான் பருப் பொருளில் இழக்கும் இயக்க ஆற்றல் (T) ஆகும்.

$$\therefore T = h\nu_{max} \tag{1.10}$$

'e' மின்னூட்டம் கொண்ட எலக்ட்ரான் 'V' மின்னழுத்தத் தால், முடுக்கம் பெற்றால் அதன் இயக்க ஆற்றல் eV ஆகும்.

$$\therefore T = eV \tag{1.11}$$

∴ சமன்பாடு (1.10) (1.11)-லிருந்து

$$eV = h\nu_{max} \tag{1.12}$$

காட்டாக, 50,000 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தால் முடுக்கம் பெறும் ஓர் எலக்ட்ரான் ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ கூலும்) இலக்கு தனிமத் தில் தாக்கும்போது வெளி வீசப்படும் எக்ஸ்-கதிரின் அதிர்வெண்,

$$\nu_{max} = \frac{eV}{h} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^{4} \text{ கூலும் வோல்ட்}}{6.6 \times 10^{-34} \text{ ஜோல் செகண்டு}}$$

$$= 1.2 \times 10^{19} \frac{(A.S)\,V}{(AV.S)S}$$

$$= 1.2 \times 10^{19} \text{ செகண்டு}^{-1}$$

அந்த எக்ஸ்-கதிரின் அலை நீளம் $\lambda = \dfrac{c}{\nu_{max}}$

$$= \frac{3.0 \times 10^{8}\ m.\ s^{-1}}{1.2 \times 10^{19}\ s^{-1}}$$

$$= 0.25\ \text{Å}$$

1.6 காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect)

ஃபோட்டான்கள் மோதி, தனிமத்திலிருந்து எலக்ட்ரான் விடுபட்டு வெளிப்படுவதை ஒளிமின் விளைவில் கண்டோம். ஃபோட்டான், எலக்ட்ரான் இரண்டையுமே இரு பிலியர்டு பந்துகள் போல் கொண்டு, அவை ஒன்றையொன்று மோதி மீண்டெழுகின்றன என்று கொண்டால், அவற்றின் மோதல் விளைவு எப்படியிருக்கும்? குறைந்த ஆற்றல் கொண்ட ஃபோட்டான்கள் (கட்புலனாகும் அலை நீளத்திலிருக்கும் ஒளி) எலக்ட்ரானை அதன் பிணைப்பிலிருந்து வெளியேற்றத் தன் ஆற்றலில் பெரும்பகுதியைச் செலவழிக்க நேரிடும். எனவே, இவைகளுக்கிடையே ஏற்படும் மோதல் ஒரு மீண்டெழு மோதலாக இருக்கமுடியாது. ஆயினும் பேராற்றல் மிக்க ஃபோட்டான்களின் (X-கதிர்கள்) ஆற்றலை ஒப்பு நோக்கும்போது எலக்ட்ரான்களின் பிணைப்பாற்றல் மிகக் குறைவாகையால், இவ்வகை ஃபோட்டான்களுக்கும் தனிமத்தில் கட்டுண்ட எலக்ட்ரான்களுக்குமிடையே ஏற்படும் மோதலை மீண்டெழு மோதலாகக் கருதலாம். A. H. காம்ப்டன் என்ற ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானி 1920-ல் இத்தகைய செய்முறை ஆய்வுகளைச் செய்து குவாண்டம் கொள்கைப்படி, இத்தகைய மோதல்களை விளக்க முடியும் என்று கண்டார். $h\nu_0$ ஆற்றலுடைய ஒளி ஃபோட்டான், நிலைப்பாடுடைய எலக்ட்ரானுடன் மீண்டெழு மோதல் வினையுற்று, தன் ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை எலக்ட்ரானுக்குப் பரிமாற்றம் செய்கிறதெனக் கொள்வோம். இப்பொழுது எலக்ட்ரான் ஓர் இயக்க ஆற்றலைப் பெறுகிறது. மோதலுக்குப் பின், ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $h\nu$ என்றால்

ஃபோட்டான் இழந்த ஆற்றல் = எலக்ட்ரான் பெற்ற இயக்க ஆற்றல்

சமன்பாடு(1.5)-ன்படி, எலக்ட்ரான் இயக்க ஆற்றல் $= (m - m_0)\, c^2$

$$\therefore\ h\nu_0 - h\nu = (m - m_0)\, c^2 \qquad (1.13)$$

மேலும், ஒளி ஃபோட்டான் மோதலுக்குப் பின், தன் படு திசைக்கு 'φ' என்ற திசையில் சிதறுகிறது என்றால், சிதறலுற்ற

ஃபோட்டானின் அலை நீளம் λ ஐப் பின்வரும் தொடர்பால் குறிக்கலாம்.

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}\left[1 - \cos\varphi\right] \qquad (1.14)$$

எனவே, இந்த மீண்டெழு மோதலில் சிதறலுற்றுக் கிடைக்கும் ஒளி ஃபோட்டான்களின் அலை நீளம் குறைந்து காணப்படும். பொதுவாக, இந்த எலக்ட்ரான் - ஃபோட்டான் மீண்டெழு மோதல் காம்ப்டன் விளைவு என்றழைக்கப்படுகிறது.

1.7 பருப்பொருளின் அலையியல்பு (Matter Waves)

எக்ஸ்-கதிர்கள் போன்ற மின்காந்த அலைப்பண்புடைய ஒளிக் கதிர்கள், சில சமயங்களில் பருப்பொருள் துகள்கள் போன்று மீண்டெழு மோதல் போன்ற செயல் தன்மை யுடையதாக இருப்பதைப் பார்த்தோம் (காம்ப்டன் விளைவு ஓர் எடுத்துக் காட்டு). இது போலவே, பருப்பொருள்களும், சில நேரங்களில் அலைப்பண்பு களைக் கொண்டிருக்குமா என்ற கேள்வியை எழுப்பி ஞல், டி. பிராலி (De Broglie) என்ற ஃபிரஞ்சு நாட்டு விஞ்ஞானி அவ் வாறு அலைப்பண்பைப் பெற்றிருக்கக் கூடும் என்ற புனைகோளைக் கொண்டு ஒரு பருப் பொருளின் அலை நீளத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிட்டார்.



லூயிஸ் டி பிராலி

ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல், சமன்பாடு (1.4)-ன்படி,

$$E = h\nu = m_p\, c^2$$

(m_p என்பது ஃபோட்டானின் நிறை)

$$\therefore\ m_p \,.\, c = \frac{h\nu}{c} \qquad (1.15)$$

(m_p . c என்பது ஃபோட்டானின் உந்தம் ஆகும்.)

ஃபோட்டானின் உந்தம் $= \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

எனவே, $\lambda = \frac{h}{\text{உந்தம்}}$ (1.16)

இதுபோலவே, எந்த ஒரு பருப்பொருளும் ஓர் அலைப் பண்பைக் கொண்டிருக்குமென்றும் அது 'mv' உந்தத்துடன் செல்லும்போது அதன் அலை நீளத்தைச் சமன்பாடு (1.16)-ன்படி குறிக்கலாம் என்றும் டி பிராலி எடுத்துரைத்தார். இந்த அலை நீளம் பருப் பொருளின் 'டி பிராலி அலை நீளம்' (De Broglie Wave Length) என்று பெயர் பெறும்.

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad (1.17)$$

எனவே, இதன்படி எலக்ட்ரான், புரோட்டான் போன்ற பருப் பொருள் துகள்களும் அலைப்பண்பைப் பெற்றிருக்குமாஞல் அலைப் பண்பாகிய குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்பு விளைவு போன்றவைகளைத் தோற்றுவிக்க முடியுமா? என்பதைப் பல விஞ்ஞானிகள் ஆராய்ந் தனர். டேவிசன் (Davisson) மற்றும் ஜெர்மர் (Germer) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானிகளும், G. P. தாம்சன் (G. P. Thompson) என்ற இங்கிலாந்து நாட்டு விஞ்ஞானியும், எலக்ட்ரான்கள் ஒரு படிகத்தில், விளிம்பு விளைவுறுவதைச் சோதனைகளின் மூலம் மெய்ப்பித்தார்கள்.

1.8 போரின் அணு மாதிரி (Bohr's Atom Model)

தனிமங்கள் தரும் நிறமாலை வரிகள் ஒரு சீர் ஒழுங்கு பெற்றிருப் பதை ரிட்பெர்க் (Rydberg) போன்றவர்கள் 19ஆம் நூற்ருண்டி லேயே எடுத்துக் காட்டிஞர்கள். காட்டாக, ஹைட்ரஜன் தனிமம் தரும் அணுநிறமாலை வரிகளின் (H_α, H_β......) அலை நீளங்களைப் (λ) பின்வருமாறு குறிக்க முடியும் என்று பால்மர் (Balmer) எடுத்துரைத்தார்.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right] \qquad (1.18)$$

$n = 1, 2, 3$...........

R = ரிட்பெர்க், மாறிலி $= 1.097 \times 10^7$ மீட்டர்$^{-1}$

இந்தச் சீர்-ஒழுங்கு நிறமாலைக்குக் காரணம், அணு எலக்ட்ரான் களின் கட்டமைப்பே என்று காட்டிஞர் நீல்ஸ்போர். அணுவின்

இயலமைப்பை, குவான்டம் கொள்கை கொண்டு தெளிவாக விளக்கினர். அவரின் அடிக்கோள்கள் பின்வருமாறு :

(i) அணுக்கருவைச் சுற்றிக் குறிப்பிட்ட 'தனிச்சலுகை'ச் சுற்றுப் பாதைகளில் தன் ஆற்றலை இழக்காத வண்ணம் எலக்ட்ரான்கள் சுற்றிவருகின்றன. சுற்றுப்பாதைகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் வரையறுக் கப்பட்ட அளவுடைய ஆற்றல் உண்டு. இந்தச் சுற்றுப்பாதைகளில் எலக்ட்ரானில் கோண உந்தம் $\frac{h}{2\pi}$ -ன் முழு மடங்காக இருத்தல் வேண்டும்.

(ii) அதிக ஆற்றலுடைய ஒரு சுற்றுப் பாதையிலிருந்து குறைந்த ஆற்றலுடைய சுற்றுப்பாதைக்கு எலக்ட்ரான் தாவ நேரிட்டால் அது ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சால் வெளியிடுகிறது. அவ் வாறு வெளியிடும் ஆற்றலின் அளவு இந்த இரு சுற்றுப்பாதைகளுக் கென வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல்களின் வேறுபாடு ஆகும்.

இந்த அடிக்கோள்களைக் கொண்டு நீல்ஸ்போர், கணக்கிட்ட r_n தூரமுடைய nஆவது சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரா னின் ஆற்றல் பின்வருமாறு:

$$E_n = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi E_0} \cdot \frac{e^2}{r_n} \qquad (1.19)$$

$$r_n = (4\pi E_0)\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 me^2} \qquad (1.20)$$

$$\therefore E_n = \frac{-2 \cdot \pi^2 me^4}{(4\pi E_0)^2 n^2\, {}^2h} \qquad (1.21)$$

E_0 ⟶ வெற்றிடத்தில் மின் உட்புகு திறன்

m ⟶ எலக்ட்ரானின் நிறை

n ⟶ குவான்டம் எண் $n = 1, 2, 3, 4 \ldots\ldots$

காட்டாக, $n = 2$ என்ற சுற்றுப் பாதையிலிருந்து $n = 1$ என்ற சுற்றுப்பாதைக்கு எலக்ட்ரான் தாவும்போது, வெளிவீசப்படும் ஒளிக்கதிரின் ஆற்றல்,

$$E_2 - E_1 = \frac{-2\pi^2 me^4}{(4\pi E_0{}^2)h^2}\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}\right]$$

எனவே, இந்தக் கதிரின்

$$\text{அதிர்வெண் } \nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{-2\pi^2 me^4}{c(4\pi E_0)^2 h^2}\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}\right] \qquad (1.22)$$

$$= 1.097 \times 10^7 \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}\right] \text{ மீட்டர்}^{-1}$$

சமன்பாடு (1.22)-ல் $\dfrac{-2\pi^2 me^4}{c(4\pi E_o)^2 h^2}$ -ன் மதிப்பு ரிட்பெர்க் மாறிலியின் மதிப்பாக இருப்பதைக் காணலாம்.

ஹைட்ரஜன் தனிமத்தின் பால்மர், லைமன், பிளாக்கட், பாஷன் நிறமாலை வரித் தொடர்கள் யாவற்றையும் இவ்வாறு விளக்க முடியும்.

1.9 சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை (Characteristic X-rays)

ஓர் எக்ஸ்-கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்-கதிர்கள் தொடர் நிறமாலையாக மட்டுமிராமல் இலக்குத் தனிமத்தைப் பொறுத்துச் சில குறிப்பிட்ட அலை நீளங்களில் செறிவுமிக்க வரி மாலையையும் கொண்டதாக இருக்கிறது. அணுக் கருவைச் சுற்றி யிருக்கும் ($n = 1, 2, 3, 4$) என்ற சுற்றுப் பாதைகள் முறையே K, L, M, N என்று முறைப்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன, K-கூட்டி லுள்ள எலக்ட்ரான் ஒன்று வெளிப்படுத்தப்பட்டால், L-கூட்டி லிருந்து K கூட்டுக்குள் மற்றோர் எலக்ட்ரான் தாவும். இதனால் வெளிவீசும் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் $(E_K - E_L)$ ஆகும். கனமிகுந்த தனிமங்களில் இவ்வாறு நடைபெறும். எலக்ட்ரான் தாவலால் ஏற்படும் கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் எக்ஸ்-கதிர் அலைநீளப் பகுதியில் அமைகிறது. அதாவது வெளிவீசும் கதிர் அந்தத் தனிமத்தின் சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களாகும். எலக்ட்ரான் தாவல், K-கூட்டிற்கு நடைபெற்றால், ஏற்படும் எக்ஸ்-கதிர் வீச்சை K-வரிகள் என்றும், L-கூட்டிற்கு நடைபெற்றால் ஏற்படும் எக்ஸ்-கதிர் வீச்சை L-வரிகள் என்றும் கூறுகிறோம். சுருங்கக்கூறின், சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களும் இயற்பியல் பண்பைப் பொறுத்தவரை ஹைட்ரஜன் தனிமத்தி

லிருந்து கிடைக்கும் H_α, H_β போன்ற கதிர்வீச்சுகளின் தன்மையைக் கொண்டதே.

மோஸ்லி (Mosley) என்ற ஆங்கில நாட்டு இயற்பியல் மேதை, எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலை வரிகளைப்பற்றி ஆய்ந்து, ஒரு தனிமத்தின் சிறப்பியல் வரிகளுக்கும் அதன் அணு எண்ணுக்கும் (z) உள்ள தொடர்பினைக் கண்டார்.

குறிப்பிட்ட ஓர் எக்ஸ்-கதிர் வரியின் அதிர்வெண் ν என்றும், அதைத் தருகின்ற தனிமத்தின் அணுஎண் z என்றும் கொண்டால்,

$$\sqrt{\nu} = a\,(z - b) \tag{1.23}$$

$a, b \longrightarrow$ மாறிலிகள்

சமன்பாடு *(1.23)* மாஸ்லி விதி எனப்படும்.

1.10 வெக்டர் அணு மாதிரி (Vector Atom Model)

போரின் அணு மாதிரியைக்கொண்டு, தனிமங்களின் நிறமாலை வரிகளைக் கணக்கிட்டுச்செய்முறைச்சோதனைகளில் கிடைத்த முடிவுகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்த்ததில் போரின் அணு மாதிரி, ஹீலியத்திற்கு மேற்பட்ட தனிமங்களில் நிறமாலையை விளக்க முடியவில்லை. எலக்ட்ரான்கள் தற்சுழற்சி பெற்றிருக்க வேண்டும் என்ற புதிய கருத்தை உலன்பெக் (Uhlenbeck), கூட்ஸ்மிட் (Goudsmit) போன்றவர்கள் எடுத்துரைத்தார்கள். எனவே, நிறமாலை ஆய்வுகள் மற்றும் அனுபவமுறைகள் ஆகியவற்றால் பெற்ற முடிவுகள் இவற்றை அடிப்படையாகக்கொண்டு வெக்டர் அணு மாதிரி என்ற ஒன்றைப் புனைந்து இடர்ப்பாடுகள் அத்தனையும் வெல்ல முடிந்தது. வெக்டர் அணு மாதிரியில் இரண்டு புதிய கருத்துகள் இடம் பெற்றன. (i) இடம் வரையறுத்தல் (Spatial quantisation), (ii) தற்சுழற்சி எலக்ட்ரான்கள் (Spinning electrons). மேலும் பௌலியின் தவிர்த்தல் விதியை (Pauli's Exclusion Principle) அடிப்படையாகக் கொண்டு அணுவில் எலக்ட்ரான்களின் அமைப்பை, வெக்டர் மாதிரியில் மிக எளிதாகக் காண முடியும். மேலும் தனிம அட்டவணையில் மிக இலேசான ஹைட்ரஜன் அணுவில் தொடங்கி, ஒரு சீரான ஒழுங்கு முறையில் அமைந்திருக்கும் தனிமங்களின் வேதியியல் பண்புகளை, அந்தத் தனிம அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் அமைந்திருக்கும் முறையைக் கொண்டு எளிதாகப் புரிந்துகொள்ள முடிந்தது. (பிற்சேர்க்கை I-ல், தனிம அட்டவணையொன்று கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.) அலைவிசையியல் கொள்கையை (Wave-

mechanics) அடிப்படையாகக்கொண்டு, வெக்டர் அணு மாதிரிக்குக் கொள்கைசார் விளக்கம் அளிக்க முடியும்.

1.11 அலை எந்திரவியல் (அலைவிசையியல்—Wave-Mechanics)

ஷ்ரோடிங்கரும் மற்றும் சிலரும் டி பிராலியின் பொருளின் அலைப்பண்புக் கொள்கையை மேலும் விரிவாக்கி, அணு, மூலக்கூறு இவைகளின் அமைப்பை நன்கு விளக்கும் புதியதோர் எந்திரவியலை உருவாக்கியுள்ளனர். இதுவே அலை எந்திரவியல் எனப்படும்.

பொருளின் அலையும், ஒலி மற்றும் ஃபோட்டான் அலையும் ஒரே தன்மை படைத்தவையல்ல. பொதுவாக, குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய அலை என்று நாம் கூறும்போது, ஒரு முடிவிலா எல்லையையுடைய அலையையே (wave extending infinity) குறிப்பிடுகிறோம். ஆயினும் எலக்ட்ரான் போன்ற ஒரு பருப்பொருளின் அலை இவ்வாறு முடிவிலா எல்லையையுடைய அலையாக இருக்க இயலாது. அது ஓர் எல்லைக்குட்படுத்தப்பட்ட அலையாகவே (localised wave) இருக்க வேண்டும். பல முடிவிலா அலைகளை அழிவு முறையில் குறுக்கிடவைப்பதன் (superposition of waves) மூலம் ஒரு சிறு இடத்தைத் தவிர மற்றெல்லா இடங்களிலும் அலையில்லாதது போன்ற, அலைச் சிப்பம் ஒன்றை (group wave) இவ்வாறான எல்லைக் குட்படுத்தப்பட்ட பருப்பொருளைக் குறிக்கும் அலையாக அமைக்க முடியும்.

ஒவ்வொரு பருப்பொருளும் ஓர் அலையுடன் இணைந்தது. இந்த அலையை அலைச்சார்பு (ψ) ஒன்றால் குறிப்பிடலாம். ஒவ்வொரு பருப்பொருளின் அலைச் சார்பும், குறிப்பிட்ட ஒரு அதிர்வெண், வீச்சு போன்ற தகுதிகளைப் பெற்றது. அலைச் சார்பின் இயற்பியல் பண்புகளைப் பிறிதோர் இடத்தில் விளக்குவோம்.

ஹைசன்பர்க் (Heisenberg) போன்ற அறிஞர்கள் கீழ்க்கண்ட சில அடிப்படை எடுகோள்களை முன்வைத்து, அலை எந்திரவியலை உருவாக்கினார்கள்.

எடுகோள்கள்

1. ஒரு பருப்பொருள் அல்லது துகளின் பண்புபற்றிய எல்லாவற்றையும் அந்தப் பருப்பொருள் அல்லது துகளின் அலைச்சார்பிலிருந்து (ψ) பெறலாம். அதாவது ஒரு துகளின் அலைச்சார்பை (ψ) அறிந்தால் துகளின் இயற்பியல் பண்புகள் அனைத்தையும் அறிதல் முடியும்.

2. காலம், இடம் போன்ற ஆயங்களைத் தன்னகத்தே கொண்ட இந்த அலைச்சார்பு (ψ) எல்லா இடங்களிலும், 'ஒரு மதிப்பு' (single value) உடையதாகவும், தொடர்ச்சி (continuous) ஆனதாகவும், மற்றும் வரையறுக்கப்பட்டதாகவும் (finite) இருக்க வேண்டும்.

3. துகளின் இயக்கத்தைக் குறிக்கும் எந்த இயக்க மாறியையும் (Dynamical variable) ஒரு செயலியால் (operator) குறிப்பிட முடியும்.

சில இயக்க மாறிகளும் அவற்றின் செயலியும் கீழே குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

இயக்கமாறி	செயலி
1. x_1 (இடம்)	x
2. P_x (உந்தம்)	$-i\hbar \frac{\delta}{\delta_x}$
3. E (ஆற்றல்)	$i\hbar \frac{\delta}{\delta t}$

4. ஒரு குறிப்பிட்ட இயக்க அமைப்பின் (dynamical system) அலைச்சார்பு (ψ) அந்த அமைப்பின் இயக்க ஆற்றலுக்கான ஹாமில்டன் செயலி H (Hamiltonian Operator) உடன் பின்வரு மாறு சார்ந்திருக்கும்.

$$H\psi = i\hbar \frac{\delta\psi}{\delta t} \tag{1.24}$$

அல்லது $H\psi = E\psi$ (1.25)

இதில் H. ஐகென் செயலி (Eigen operator) என்றும், E, ஐகென் ஆற்றல் மதிப்பு (Eigen value) என்றும், ψ, ஐகென் சார்பு (Eigen function) என்றும் குறிப்பிடுவதுண்டு.

5. ψ என்ற குறிப்பிட்ட அலைச்சார்பைத் தன்னகத்தே கொண்ட ஓர் இயக்க அமைப்பு இருந்தால், அந்த அமைப்புடன் இணைந்த ஓர் இயக்க மாறியின் சராசரி அளவு $< q >$ (Expectation value)

$$< q > = \frac{\oint \psi^* Q \psi \, d\tau}{\oint \psi^* \psi \, d\tau} \tag{1.26}$$

இதில் Q என்பது அந்த இயக்க மாறியின் இயக்கச் செயலியாகும்.

ஷ்ரோடிங்கர் சமன்பாடு (Schrodinger wave equation)

ஓர் இயக்க அமைப்பின் ஆற்றல், உந்தம், கோண உந்தம் போன்ற குவான்டம் பண்புகளைக் காண இயக்கச் சமன்பாடு ஒன்று தேவைப்படுகிறது. முதுபழம் கொள்கையில் தள அலை வொன்றின் இயக்கத்தைப் பொதுவாக இரண்டாம்நிலை வகைச் சமன்பாடு (Second order differential equation) ஒன்றால் குறிப் பிடலாம்.

$$\frac{d^2F}{dx^2} - \frac{1}{u^2} \cdot \frac{d^2F}{dt^2} = 0 \qquad (1.27)$$

இதில் 'F' என்பது இயக்க மாறி 'u' திசைவேகம்.

அலை எந்திரவியலிலும், இதுபோன்ற ஓர் இயக்கச் சமன் பாட்டைப் பெற இயலும். ψ என்ற அலைச்சார்பு அது சார்ந்துள்ள அமைப்பின் (system) இயற்பியல் பண்புகளை முழுவதும் குறிப்ப தாகக் கொண்டுள்ளோம். அது காலம், இடம் போன்ற ஆயங் களைத் தன்னகத்தே கொண்டது என்றும் முன்பு கண்டோம். எனவே ψ ஐப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்:

$$\psi = A\zeta^{\,i\left(\frac{P}{\hbar}x - \frac{E}{\hbar}\cdot t\right)} \qquad (1.28)$$

இங்கு A, P, E என்பன முறையே அமைப்பிற்கான அலையின் வீச்சு, உந்தம், ஆற்றல் இவற்றைக் குறிக்கின்றன.

ν என்பது அலையின் அதிர்வெண் என்றால் $E = h\nu$ ஆகும்.

λ என்பது அலையின் அலைநீளம் என்றால் டி பிராலியின் கூற்றுப்படி

$$\lambda = \frac{h}{P} \text{ ஆகும்.}$$

மேலும் 'ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்'படி,

$$E = \frac{P^2}{2m} + V \qquad (1.29)$$

E – அமைப்பின் மொத்த ஆற்றல்

P — அமைப்பின் உந்தம்

V — ,, நிலை ஆற்றல்

m — ,, நிறை

$\frac{P^2}{2m}$ — ,, இயக்க ஆற்றல்

சமன்பாடு (1.28)ஐ இருமுறை பகுத்தால்

$$\frac{\delta^2}{\delta x^2}\psi = -\frac{P^2}{\hbar^2}\psi$$

$$= -\frac{2m}{\hbar^2}(E-V)\psi$$

$$\therefore \frac{\delta^2}{\delta x^2}\psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E-V)\psi = 0 \qquad (1.30)$$

$$\therefore E\psi = -\frac{\hbar^2}{2m}\left[\frac{\delta^2}{\delta x^2} + V\right]\psi \qquad (1.31)$$

மேலும் சமன்பாடு (1.28)ஐப் பகுக்க,

$$\frac{\delta\psi}{\delta t} = -i\frac{E}{\hbar}\psi$$

$$\therefore i\hbar\frac{\delta\psi}{\delta t} = E\psi \qquad (1.32)$$

சமன்பாடு (1.31)-ன்படி,

$$i\hbar\frac{\delta\psi}{\delta t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\left[\frac{\delta^2}{\delta x^2} + V\right]\psi \qquad (1.33)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left[\frac{\delta^2}{\delta x^2} + V\right]$$

என்பது ஹாமில்டன் ஆற்றல் செயலி (Hamilton operator) எனப்படும்.

$$\therefore i\hbar\frac{\delta\psi}{\delta t} = H\psi = E\psi \qquad (1.33)$$

சமன்பாடு (1.30) ஷ்ரோடிங்கரின் இடம்சார் சமன்பாடு (Schrodinger's Space equation) என்றும், சமன்பாடு (1.32) ஷ்ரேடிங்கரின் காலம்சார் சமன்பாடு (Schrodinger's time equation) என்றும் கூறப்படும்.

V-ன் வெவ்வேறு மதிப்பீடுகளுக்கும் அலைச்சார்பு ψ வெவ்வேறு மதிப்பைப் பெறும். ஷ்ரோடிங்கர் சமன்பாட்டின் உதவியால் நேர்கோட்டுச் சீரிசை அலைவி (Linear Harmonic Oscillator) ஒரு மின்னழுத்தப் பெட்டியில் முடங்கிய துகள் (Particle in a box) போன்றவற்றின் ஐகன் ஆற்றல் மதிப்பீடுகளைக் காணுதல் எளிது.

ψ-யின் இயற்பியல் விளக்கம் (Physical interpretation of ψ)

பொதுவாக ஒரு மின்காந்த அலையின் செறிவை அதற்கான வெக்டரின் இருமடியிலிருந்து (E^2 அல்லது M^2) காணுதல் முறை. ஆயினும் அலை எந்திரவியலில் $|\psi^2|$ துகளின் செறிவை அளவிடுவதாகக் கொள்வதற்கில்லை. $|\psi^2|$ ஓர் இடத்தில் துகளைக் காண்பதற்கான நிகழ்திறனைக் (Probability density) காட்டுவதாகக் கொள்வது முறை. பருப்பொருளுக்கான அலையின் வீச்சு, ஓர் இடத்தில் சுழி ஆனால் அங்குப் பொருளைக் காண்பதற்கான நிகழ் திறனும் சுழி ஆகும். மாறாக ஓர் இடத்தில் $|\psi^2|$ மதிப்பு ஒன்றுக்கு அருகில் இருந்தால் (near unity) அங்குத் துகளைக் காண்பதற்கான திறன் மிகமிக அதிகம். சுருக்கமாக ஓர் இடத்தின் $|\psi^2|$ மதிப்பு அந்த இடத்தில் பொருளைக் காணுவதற்கான நிகழ்திறனைக் குறிப்பதாகும்.

குறிப்பிட்ட ஒரு துகள் ஏதாவது ஓர் இடத்தில் இருந்துதான் ஆகவேண்டுமாதலால்

$$\iiint |\psi^2| \, dx \, . \, dy \, . \, d^2 = 1 \qquad (1.34)$$

என்பது தெளிவாகும்.

அணுக்களின் எலக்ட்ரான் கட்டமைப்பு, அரை முழு குவாண்டம் எண் (Half integral quantum number) சுழிநிலை ஆற்றல் (zero point energy) ஆகியவற்றையும் அலை எந்திரவியல் நன்கு விளக்குகிறது. அணுக்கருவியலில் இயற்கைக் கதிரியக்கமும் செயற்கைக் கருச் சிதைவும் நன்கு விளக்கம் பெறுகின்றன. இயற்பியல் வளர்ச்சிக்கு அலை எந்திரவியலின் வளர்ச்சி ஒரு முன்னேடியாக அமைந்தது.

2. இயற்கைக் கதிரியக்கம்

2.1 கண்டுபிடிப்பு

கதிரியக்கம் என்ற புதியதொரு கதிர்வீச்சு, இயற்பியல் சார்ந்த அறிவியலில் வேறெந்த ஒரு கண்டுபிடிப்பும் ஏற்படுத்தாத ஒரு புதிய ஆர்வத்தை வளர்த்து, அறிவியல் கொள்கைகளில் 'புது அலைகள்' தோன்றக் காரணமாகவும் அமைந்தது. கி.பி. 1896ஆம் ஆண்டு ஹென்றி பெக்வரல் (Henry Becquerel) என்ற பிரஞ்சு விஞ்ஞானியால் தற்செயலாக இந்த விளைவு கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. ஒளிக் கதிர்கள் பட்டதும் உடன் ஒளிரும் (fluroscence) இயல்பினைக் கொண்ட யுரேனியம் உப்புகளை இருட்டறையில் வைத்திருந்த போதிலும் அந்த உப்புகளிலிருந்து ஏதோ ஒருவகைக் கதிர்கள்—எக்ஸ்-கதிர்கள் போன்று, ஒளிப்படத்தட்டைப் பாதிப்பதை பெக்வரல் கண்டார். பிறகு அந்தக் கதிர்களின் தன்மை, எக்ஸ்-கதிர்களின் தன்மையைப்போன்றது அன்று என்றும், இந்தக்கதிர்கள் யுரேனிய அணுக்களிலிருந்து வருகின்றன என்றும் ஆய்ந்து எடுத்துரைத்தார். இப் புதியதொரு கண்டுபிடிப்பு, பல விஞ்ஞானிகளின் குறிப்பாக மேரி க்யூரி, அவரது கணவர் பியர் க்யூரி இவர்களின் கவனத்தை இந்தத் துறைக்கு ஈர்த்தது. மேரி க்யூரி அவர்கள் அணுக்களின்

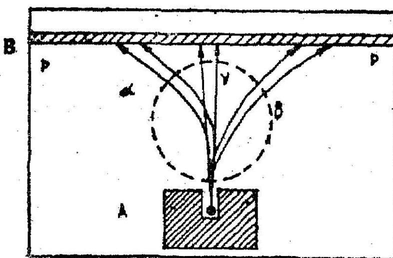


ஹென்றி பெக்வரல்

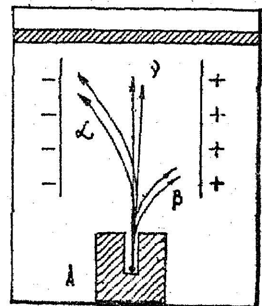
இந்த இயல்புக்குக் கதிரியக்கம் என்று பெயரிட்டார். மேலும் அதிக சக்தி வாய்ந்த கதிரியக்கம் கொண்ட பொலோனியம், ரேடியம் போன்ற தனிமங்களை யுரேனிய கனிப் பொருள்களிலிருந்து (Pitch Blende) பிரித்தெடுத்தார். தோரியம், அயோனியம் போன்ற கதிரியக்கம் உள்ள தனிமங்கள் விரைவில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. கதிரியக்கம் பற்றிய ஆய்வுத் துறையில் தனக்கென ஒரு தனியிடம் பெற்றவர், ஆங்கில நாட்டைச்சேர்ந்தருதர்ஃபோர்டு (Rutherford) என்பவர் ஆவார். தனது சிந்தனைத் துளிகளைச் சீரிய முறையில் செயல் படுத்தி, அணு ஆய்வுத் துறையில் 'புதிய வெள்ளம்' பெருக்கெடுத்து ஓடச் செய்தவர் அவர். கதிரியக்கக் கதிர்கள் ஒரினமானவை அல்ல என்றும், அவை ஆல்ஃபா (α), பீட்டா (β) என்ற இரு பிரிவுகளாக இருக்கின்றன என்றும் ருதர்ஃபோர்டு கண்டார். காமா (γ) என்றவொரு மூன்றுவது பிரிவும் இருப்பதை வில்லார்டு (Villiard) கண்டுபிடித்தார். இந்த மூன்று இனங்கள் 'கதிரியக்கக் கதிரில்' இருப்பதைப் பின்வரும் எளிய முறையில் விளக்கலாம். *A* என்ற ஓர் ஈயப் பாளத்தில் (படம் 2.1 a) ஒரு சிறு துவாரம்



மேரி க்யூரியும் பியர் க்யூரியும்



படம் 2.1 a
காந்தப் புலத்தால் α - β - γ
கதிர்களின் பாதை விலக்கம்



படம் 2.1-b
மின்புலத்தால் α - β - γ
கதிர்களின் பாதை விலக்கம்

செய்து அதில் கதிரியக்கப் பொருள் ஒன்றை வைத்தால் கதிர்கள் மேற்புறம் இணைக்கற்றைகளாக வெளிவரும். பிற பக்கங்களில் வெளிப்படும் கதிர்கள் ஈயத்தினுல் உட்கவரப்படும். கதிரியக்கப் பொருளைத் தன்னகத்தே கொண்ட ஈயப் பாளத்தை, ஒரு கலத்தின் அடியில் பொருத்துதல் வேண்டும். கலத்தின் உள்ளே உள்ள காற்று, கதிரியக்கக் கதிர்களைத் தன்னுள் கவரும் தன்மை வாய்ந்தது எனவே, இக் கலத்தை வெற்றிடமாக்குவது மிக அவசியமாகிறது. ஒளிப்படத் தட்டு ஒன்று இந்தக் கலத்தின் மேற்புறத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இப்பொழுது தாளின் மேலிருந்து உட்புறமாகவும், கதிர்கள் செல்திசைக்குச் செங்குத்தாகவும், ஒரு காந்தப் புலன் ஏற்படுத்தினுல் பின்வரும் விளைவுகளைக் காணலாம் (படம் 2.a).

(i) காந்தப் புலன் காரணமாகச் சிறிதளவு இடப்புறமாக விலகிச் செல்லும் ஒருவகைக் கதிர்கள். இவை ஆல்ஃபா (α) கதிர்கள் எனப்படும்.

(ii) காந்தப்புலன் காரணமாக மிக அதிக அளவு வலப்புறமாக விலகிச் செல்லும் ஒருவகைக் கதிர்கள். இவை பீட்டா (β) கதிர்கள் எனப்படும்.

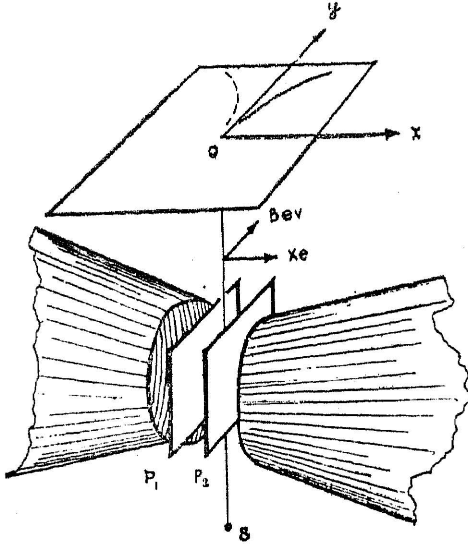
(iii) தாம் செல்லும் பாதையில், காந்தப் புலனுல் எந்தவித மாற்றத்திற்கும் உட்படாத ஒருவகைக் கதிர்கள். இவை காமா (γ) கதிர்கள் எனப்படும்.

காந்தப் புலத்திற்குப் பதிலாக, ஒரு மின் புலம் ஏற்படுத்துவோமேயானுல் ஏற்படும் பாதை விலக்கங்களைப் படம் 2.1.b விளக்குகிறது. இந்தக் கதிர்கள் காந்த மற்றும் மின்புலங்களால் அடையும் பாதை விலக்கங்களைக் கொண்டு அவற்றின் மின்னூட்டங்களை அறிதல் எளிது. ஆல்ஃபாக் கதிர்கள், நேர் மின்னூட்டம் உடையன என்றும், பீட்டாக் கதிர்கள் எதிர் மின்னூட்டம் உடையன என்றும், காமாக் கதிர்கள் எந்தவித மின்னூட்டமும் இல்லாத மின்காந்தக் கதிர்கள் என்றும் அறிய முடிகிறது. இந்தக் கதிர்களின் தன்மையை மேலும் அறிய அவற்றின் மின்னூட்டத்தின் அளவும், அதன் நிறையும் காணுதல் வேண்டும். முதலில் இந்தக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு என்ன என்பதைக் காணுவோம்.

2.2 பீட்டாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு (e/m)

முதன்முறையாகப் பீட்டாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவை பெக்வரல் கண்டார். ஆனுல், ஒருபடித்தான திசைவேக

முடைய β கதிர்களுக்கு மட்டுமே அவரது முறை பொருந்தியது. வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் செல்லும் β-கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு காண, காஃப்மேன் (Kauffmann) என்பவர் புதிய முறை ஒன்றைச் செயல்படுத்தினர். இதன்படி பலபடித்தான திசை வேகம் உள்ள β-கதிர்களை, வீசும் மூலப் பொருளிலிருந்து வரும் β-கதிர்கள் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செல்லும் வகையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது (படம் 2.2).



படம் 2.2
β-கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு காணல்

கதிர்கள் செல்லும் பாதையில் பக்கவாட்டில் P_1P_2 என்ற மின்னோடுகள் வைக்கப்பட்டு மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. அவற்றிற்கு இடையே நிலவும் மின்புலம், β-கதிர்களின் தொடக்க திசைக்குச் செங்குத்தாக அமையும். மின்புலத் திசைக்கு இணையாகவே அதே இடத்தில், சீரான காந்தப்புலம் ஒன்று நிலவச் செய்யத் தேவையான மின்காந்த அமைப்புகளும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களின் செறிவினை ஒட்டி β-கதிர்களின் பாதையில் மாற்றங்கள் ஏற்படும். மின்புலம் β-கதிர்களின் மீது Xe என்ற விசையைச் செயல்படுத்தும். e என்பது β-கதிர்களின் மின்னூட்டமாகும். இந்த விசையினுல் β-கதிர்கள் பக்கவாட்டில் (x-திசையில்) விலக்கப்படும். β-கதிர்களின் திசை வேகம் v என்று கொண்டோமானல், B செறிவுள்ளகாந்தப் புலத்

திஞல் β-கதிர்கள், Bev என்ற விசைக்கு உட்படும். இந்த விசை செயல்படுவதன் காரணமாக β-கதிர்கள் கிடைத்தளத்தில் மின் புலம் விலக்கும் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் (y-direction) விலக்கப்படும்.

நியூட்டன் விதிப்படி

$$Xe = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (2.1)$$

$$Bev = m\frac{d^2y}{dt^2} \qquad (2.2)$$

மேலும், $S = ut + \frac{1}{2} at^2$

பக்கவாட்டில் தொடக்கத் திசைவேகம் $u=0$,

எனவே, $S = \frac{1}{2} at^2$

இதில் a — முடுக்கம்.

$$\text{எனவே, } x = \frac{1}{2}\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)t^2 \qquad (2.3)$$

$$y = \frac{1}{2}\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)t^2 \qquad (2.4)$$

சமன்பாடு (2.1) மற்றும் (2.2) இவற்றினின்று $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ மதிப்புகளை முறையே, சமன்பாடு (2.3) (2.4)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{Xe}{m} \cdot t^2 \qquad (2.5)$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{Bev}{m} \cdot t^2 \qquad (2.6)$$

என்பன கிடைக்கும்,

மேலும், β-கதிர்கள் v என்ற திசைவேகத்தில் மின்புலம் மற்றும் காந்தப் புலங்களில் 'l' தொலைவு செல்கின்றன என்று கொண்டால்,

$$v = l / t \tag{2.7}$$

எனவே, $$y = \frac{1}{2} \frac{Bel}{m} t \tag{2.8}$$

சமன்பாடு (2.5); சமன்பாடு (2.8) இவற்றை ஒருங்கிணைத்தால்,

$$\frac{y^2}{x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{X} \cdot l^2 \left(\frac{e}{m}\right) \tag{2,9}$$

அல்லது, $$\frac{e}{m} = 2 . \frac{X}{B^2} \cdot \frac{1}{l^2} . \left(\frac{y^2}{x}\right) \tag{2.10}$$

சமன்பாடு (2·9) ஒரு பரவளையத்தின் சமன்பாடாக அமைகிறது ஆகவே, β-கதிர்கள் ஒளிப்படத்தட்டில் பரவளையப் பாதையில் குவிகின்றன. அதிகத் திசைவேகத்தைக் கொண்ட β-கதிர்கள் அச்சு மையத்திற்கு அருகிலும், திசைவேகம் குறைந்த β-கதிர்கள் இரு அச்சுகளிலிருந்து பரவளையப் பாதையில் விலகியும் பதிவாகின்றன. மேலும், மின்புலத்தின் திசையை மாற்றினால் இந்தப் பரவளையம், எதிரொலிப்புப் பரவளையமாக அமைகிறது. β-கதிர்களின் நிறை அதன் திசைவேகத்தைப் பொறுத்து மாறுவதால் ஒளிப்படத்தில் பதிவான β-கதிர்களின் பாதை, பரவளையப் பாதையிலிருந்து சற்றே மாறியும் இருக்கக்கூடும். இவ்வாறு சற்றே மாறுபட்டிருப்பது ஐன்ஸ்டினின் சார்பியல் கொள்கையை விளக்கும் நல்லதொரு சான்று எனலாம்.

பயிற்சி 1. காந்தப் புல வலிமை 1 டெஸ்லா உள்ள காந்தப் புலம்வழியாகச் செல்லும் 4 *mev* இயக்க ஆற்றலுள்ள β-கதிர்களின் பாதையின் வட்டத் தட ஆரம் 1·49 செ.மீ ஆகும். β-கதிர்களின் மின்னூட்ட-நிறைதகவு காண். β-கதிர்களின் பாதையை மீண்டும் நேராக்கத் தேவையான மின்புலத்தின் அளவு என்ன?

(1. $ev = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J)

விடை : ஐன்ஸ்டினின் சார்பியல் கொள்கைப்படி, ஒரு துகளின் இயக்க ஆற்றல்

$$T = (m - m_0)\, c^2$$

இதில் mc^2 = துகளின் இயக்கநிலை ஆற்றல்

$m_0 c^2$ = துகளின் ஓய்வுநிலை ஆற்றல்

எனவே $T = m_0\, c^2 \left[\frac{m}{m_0} - 1 \right]$

$$\therefore\ 1 + \frac{T}{m_0\, c^2} = \frac{m}{m_0} = \frac{m_0}{m_0} \sqrt{\frac{1}{1 - V^2/c^2}}$$

$$T = 4\ Mev = 4 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$= 6.4 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

$$m_0\, c^2 = 9.11 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8 \times 3 \times 10^8\ \text{J}$$

$$\therefore\ 1 + \frac{T}{m_0\, c^2} = 1 + \frac{6.4 \times 10^{-13}}{9.11 \times 3 \times 10^8 \times 3 \times 10^8 \times 10^{-31}}$$

$$= 1 + 7.8 = 8.8$$

மேலும் $\frac{m}{m_0} = 8.8$

$$\therefore\ 1 - \frac{V^2}{c^2} = \left(\frac{1}{8.8} \right)^2$$

$\therefore\ V = 2.975 \times 10^8$ மீட்டர்/செகண்டு

மேலும் β-கதிர்களின் மேல் செயல்படுத்தப்படும் காந்த விசை, அவற்றின் மீது செயல்படும் மையநோக்கு விசைக்குச் சமமாகும்.

$$\therefore\ Bev = \frac{mv^2}{r}$$

$$\therefore\ \frac{e}{m} = \frac{v}{r.B}$$

$$\therefore \frac{e}{8.8\, m_0} = \frac{v}{r.B}$$

$$\therefore \frac{e}{m_0} = \frac{8.8 \times 2.975 \times 10^8}{1.49 \times 10^{-2} \times 1} \cdot \frac{\text{மீட்டர் . செகண்டு}^{-1}}{\text{மீட்டர் . டெஸ்லா}}$$

$$= 17.57 \times 10^{10} \left[\frac{1}{\text{செகண்டு . வோல்ட் . செகண்டு . மீட்டர்}^{-2}} \right]$$

$$= 17.57 \times 10^{10} \left[\frac{\text{கூலும்}}{\text{கூலும் . வோல்ட் . செகண்டு}^{-2}\text{ . மீட்டர்}^{-2}} \right]$$

$$= 17.57 \times 10^{10} \left[\frac{\text{கூலும்}}{\text{ஜோல்ஸ் . செகண்டு}^{2}\text{ மீட்டர்}^{-2}} \right]$$

$$\left[\frac{\text{கூலும்}}{\text{(கிலோ கிராம் . மீட்டர்}^{2}\text{ செகண்டு}^{-2}\text{) செகண்டு}^{2}\text{ மீட்டர்}^{-2}} \right]$$

$$= 17.57 \times 10^{10} \frac{\text{கூலும்}}{\text{கி. கிராம்}}$$

இந்த வட்டத் தடப் பாதையை மீண்டும் நேராக்க ஒரு மின்புலம், காந்தப் புலத்திற்கும், கதிர்கள் செல்லும் தளத்திற்கும் செங் குத்துத் திசையில் செயல்படுத்தப்பட வேண்டும். இப்பொழுது, இரு விசைகளாலும் ஏற்படும் விலக்கங்கள் எதிரெதிர் திசையில் அமையும்.

மேலும் $X e = Bev$

$$\therefore X = Bv$$

$$= 1 \times 2.975 \times 10^8 \text{ (டெஸ்லா மீட்டர். செகண்டு}^{-1}\text{)}$$

$$= 2.975 \times 10^8 \text{ (வோல்ட் . செகண்டு . மீட்டர்}^{-2}\text{ . மீட்டர் . செகண்டு}^{-1}\text{)}$$

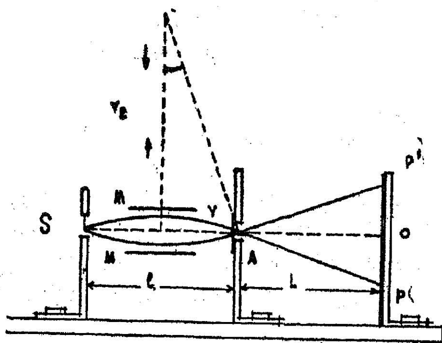
$$= 2.975 \times 10^8 \text{ வோல்ட்/மீட்டர்}$$

β-கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு எலக்ட்ரான்களின் அளவே அமைதலால், β கதிர்களும் எலக்ட்ரான்களே என அறியலாம்.

2.3 ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு

ரூதர்ஃபோர்டு, ராபின்ஸன் (Robinson) இவர்கள் இருவரும், நேர் மின் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு காண, ஜே. ஜே. தாம்சன் பயன்படுத்திய முறையைப் போன்றதொன்றைப் பயன் படுத்தி, ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவைக் கண்டார்கள்.

ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் வீசக்கூடிய ரேடான் வாயு மூலப் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. சுற்றுப்புறக் காற்று முற்றிலும் நீக்கப்பட்ட ஒரு கலத்தினுள் *S* என்ற மூலப் பொருள் வைக்கப் பட்டுள்ளது (படம் 2.3). மின் புலத்தைத் தருகின்ற சுமார் 30 செ.மீ. நீளமும், 0·4 செ.மீ. இடைவெளியுமுள்ள *MM* என்ற இணைத் தகடுகளுக்கு இடையே ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் சென்று *A* என்ற பிளவு வழியாக *PP*^{1} என்ற ஒளிப்படத் தட்டை வந்தடைகின்றன.



படம் 2.3
α-கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு காணல்

மின்புலமுள்ள அதே இடத்தில் மின்புலத் திசைக்குச் செங் குத்துத் திசையில், காந்தப்புலம் ஒன்றும் ஏற்படுத்தத் தேவையான மின்காந்த அமைப்பும் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவை செயல்படாதபோது ஆல்ஃபாக்கதிர்கள் *O* என்ற புள்ளியை வந்தடையும்.

இப்பொழுது '*B*' டெஸ்லா செறிவுகொண்ட ஒரு காந்தப் புலத்தைச் செயல்படுத்துவோம். மூலப்பொருளிலிருந்து வரும் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் யாவும், காந்தப் புலத்தின் விசை காரணமாக, வட்டத் தடப் பாதையில் செல்லும். அவ்வாறு விலக்கப்படும் எல்லா ஆல்ஃபாக் கதிர்களும் ஒளிப்படத் தட்டை வந்தடையாது.

ஏனெனில், வெவ்வேறு திசைவேகம் உடைய ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் வெவ்வேறு அளவுக்குப் பாதை விலக்கம் அடைவதால் A என்ற பிளவைச் சரியாக வந்தடைதல் இயலாது. ஆனால் மூலப்பொருளி லிருந்து குறிப்பிட்ட தொடக்கத் திசையில் வெளிப்படும் சில ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் பாதை விலக்கமடைந்த பின்னரும், A என்ற பிளவின் வழியாகச் சரியாக, ஒளிப்படத்தட்டை அடைய முடியும்.

அவ்வாறு வந்தடையும் ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மீது செயல் படுத்தப்படும் காந்தவிசை கதிர்களின் மீது செயல்படும் மைய விசைக்குச் சமமாகும்.

ஆகவே $$BEv = \frac{Mv^2}{r_1} \qquad (2.11)$$

v ⟶ ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் திசைவேகம்

E ⟶ ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்டம்

M ⟶ ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் நிறை

r_1 ⟶ காந்தப் புலத்தால் தோன்றிய மையநோக்கு விசையினால் ஏற்படும் வட்டத்தட ஆரம்.

இப்பொழுது, சுமார் 2 K.V. மின்னழுத்தம் கூடிய மின் புலத்தை, MM தகடுகளுக்கிடையே செலுத்துவோம். X என்ற மின்புலம் ஏற்படுமேயானால் இந்த மின்புலவிசை, இக் கதிர்களின் மீது இப்பொழுது செயல்படும் மையநோக்கு விசைக்குச் சமமாகும்.

$$XE = \frac{Mv^2}{r_2} \qquad (2.12)$$

r_2 ⟶ மின்புலத்தினால் தோன்றிய மையநோக்கு விசையினால் ஏற்படும் வட்டத்தட ஆரம்.

சமன்பாடு (2.11)யும் (2.12)யும் ஒருங்கிணைக்க

$$\frac{E}{M} = \frac{X}{B^2} \cdot \frac{r_2}{r_1^2} \qquad (2.13)$$

என்பது கிடைக்கும்.

மேலும், $$\frac{l_2}{r_3} = \frac{OP}{OA}$$

$$\therefore r_2 = \frac{l}{2} \cdot \frac{OA}{OP} \qquad (2.14)$$

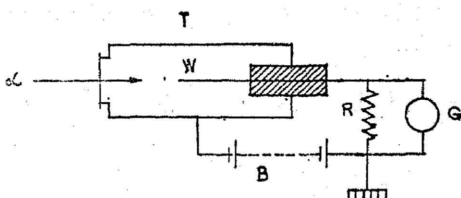
காந்த மற்றும் மின்புலத்தின் காரணமாக ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் ஒளிப்படத் தட்டில் விழும் P என்ற புள்ளியை அறிவதன் மூலம் சமன்பாடு (2.14)ஐப் பயன்படுத்தி, r_1 மற்றும் r_2 இவைகளைக் காணலாம். சமன்பாடு (2.13) ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவை அறிய உதவுகிறது.

ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு $\left(\frac{E}{M}\right)$ தற்பொழுது ஆய்ந்து ஒப்புக்கொள்ளப்பட்ட 4.82×10^7 கூலும்/கி. கிராம் ஆகும்.

2.4 ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்டம்

முதன் முதலாக ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்டத்தைக் கண்ட சிறப்பு ருதர்ஃபோர்டு மற்றும் கெய்கர் (Geiger) இவர்களைச் சாரும். அவர்களின் ஆய்வு இரு பிரிவுகள் அடங்கியதாகும். (1) முதலில் குறிப்பிட்ட ஒரு மூலப்பொருள் ஒரு நொடியில் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் எண்ணிக்கையைக் காணல்; (2) ஒரு நொடியில் இந்தக் கதிர்களால் ஏற்படும் மொத்த மின்னூட்டம் காணல். இந்த மொத்த மின்னூட்டத்தை, ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க, ஓர் ஆல்ஃபாக் கதிரின் மின்னூட்டத்தை அறியலாம்.

(1) ஆல்ஃபாக் கதிர்களை எண்ணக்கூடிய ஒரு கருவியை கெய்கர் அமைத்தார். அதன் அமைப்பைப் படம் (2.4) விளக்குகிறது. T என்ற உலோகக் குழாய்க் கலனுக்குள், காற்று அல்லது வேறு வாயு ஒன்று 10 செ.மீ. அழுத்தத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 2.4
α-கதிர்களை எண்ணும் கெய்கர் எண்ணி

W என்ற உலோகக் கம்பி, குழாயின் நடுவில், குழாயுடன் மின் தொடர்பின்றிப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. குழாய்க்குள் அடைக்

கப்பட்டிருக்கும் வாயுவை அயனியாக்கத் தேவையான மின்னழுத் தத்திற்குச் சற்றே குறைவான மின்னழுத்தம், உலோகக் குழாய்க் கும் Wக்கும் இடையே செயல்படுத்தப்படுகிறது. ஆல்ஃபாக் கதிர் கள் குழாய்க்குள் வந்தடைய, ஒரு மெல்லிய அலுமினியத் தகட்டி ஞல் ஆன சன்னல், கலனின் சுவரில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஆல்ஃபாக் கதிர்கள், உட்புகுந்ததும் அவற்றின் ஆற்றலிஞல் உள்ளிருக்கும் வாயு அயனியாக்கப்படுகிறது. இதஞல் ஏற்படும் மின்ஞேட்டம், R என்ற மின்தடை வழியாகப் பாய்ந்து, அதற்குப் பக்க இணைப்பாக அமைந்திருக்கும் அலைவு காட்டும் ஆடி கால்வனு மீட்டரில் (G) ஓர் அலைவைத் தோற்றுவிக்கின்றது. கால்வனுமீட்டர் ஆடியின் இந்த அலைவுகளை மிக வேகமாக ஓடும் ஓர் ஒளிப்பட ஃபிலிம் பதிவாக்குகிறது. ஓர் ஆல்ஃபாக் கதிரிஞல் ஏற்படும் மின் ஞேட்டம், மின்தடை வழியாகப் பாய்ந்த உடனேயே நிறுத்தப் பட்டுவிடுவதால் கலம், அடுத்த ஆல்ஃபாக் கதிரைக் கணிக்கத் தயார் ஆகிவிடுகிறது. எனவே, ஒரு நொடியில் கால்வனு மீட்டரில் ஏற்படும் அலைவுகளின் எண்ணிக்கைதான், மூலப்பொருள், கலத் தின் சன்னல் வழியாக ஒரு நொடியில் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிர் களின் எண்ணிக்கையாகும். சன்னலின் பரப்பு, மூலப்பொருள் மையத்தில் ஏற்படுத்தும் திண்மக்கோணம், இவைகளிலிருந்து மூலப்பொருள், கோளப்பரப்பு முழுவதும் வீசக்கூடிய ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் எண்ணிக்கையைக் காணலாம். ஒரு கிராம் ரேடியம் ஒரு நொடியில் 3.7×10^{10} ஆல்ஃபாக் கதிர்களை வீசுகிறது என்று இவர்கள் கண்டார்கள்.

2. குறிப்பிட்ட நிறையுடைய ரேடிய மூலப்பொருளை வாயு நீக்கம் செய்யப்பட்ட ஒரு கலத்திஞுள் வைத்து அந்த மூலப் பொருள் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்டம் முழுவதும், ஒரு மின்வாய் வழியாகக் குவாட்ரண்ட் எலக்ட்ரா மீட்டரில் செல்லுமாறு அமைத்தால் ஒரு நொடியில் மீட்டர் ஏற்கும் மின் னூட்டத்தை அளவிடலாம். எனவே, இந்த மொத்த மின்னூட் டத்தை ஒரு நொடியில் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் எண்ணிக்கை யால் வகுக்க, ஓர் ஆல்ஃபாக் கதிரின் மின்னூட்டம் கிடைக்கும்.

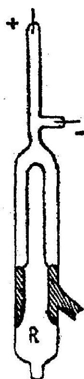
இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் 3.19×10^{-19} கூலும் ஆகும். எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் 1.60×10^{-19} கூலும். எனவே, ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் மின்னூட்டம் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைப்போல் இருமடங்காகும் என அறியலாம். மேலும்,

$$M\alpha = \frac{E}{E/M\alpha} = \frac{3.19 \times 10^{-19}}{4.82 \times 10^{7}} \cdot \frac{\text{கூலும்}}{\text{கூலும்/கி. கிராம்}}$$

$$= 6.62 \times 10^{-27} \text{ கிலோ கிராம்.}$$

புரோட்டானின் நிறை 1.62×10^{-27} கிலோகிராம் ஆகும். எனவே, ஓர் ஆல்ஃபாக் கதிரின் நிறை ஏறத்தாழ நான்கு புரோட்டான்களின் நிறைக்குச் சமமாகிறது. எனவே, ஆல்ஃபாக் கதிரின் நிறை நான்கு புரோட்டான்களின் நிறைக்குச் சமமாகவும் ஆல்ஃபாக் கதிரின் மின்னூட்டம் நேர் மின்னூட்டமாகவும், எலக்ட்ரான் மின்னூட்டம்போல் இரு மடங்கு உள்ளது என்றும் அறியலாம். அயனியாக்கப்பட்ட ஒரு ஹீலியத் தனிமத்தின் பண்புகளை இவை ஒத்திருப்பதையும் காணலாம்.

ரூதர்ஃபோர்டு, மற்றும் ராயிட்ஸ் (Ryods) இருவரும் இந்த உண்மையை உறுதிப்படுத்தக் கீழ்க்கண்ட சோதனையைச் செய்தார்கள். ஆல்ஃபாக் கதிர்களை வீசக்கூடிய ரேடான் தனிமத்தைப் படம் (2.5)-ல் காண்பித்திருக்குமாறு அமைந்த ஒரு கண்ணுடிக்குழாயில் (R) வைக்கப்பட்டுள்ளது. வீசப்பட்ட ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் தனித்துத் திரியும் எலக்ட்ரான்களுடன் சேர்ந்து ஒரு வாயு நிலையிலுள்ள தனிமமாகிறது. பிறகு குறிப்பிட்ட மின்வாய்களுக்கிடையே மின்னழுத்தம் செலுத்த ஏற்படும் நிறமாலையை, ஒரு நிறமாலை வரைவியின் உதவியால் பகுத்தாய்ந்தால் இந்த நிறமாலை, ஹீலியம் வாயுவின் நிறமாலையை ஒத்திருக்கிறது என்று அவர்கள் எடுத்துரைத்தார்கள். எனவே, ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் அயனியாக்கப்பட்ட ஹீலியம் என்ற தனிமம்தான் என்றறிய முடிகிறது. உண்மையில் இவை ஹீலிய அணுக் கரு என்பதும் விரைவில் புலனாகும்.



படம் 2.5
α-கதிர்கள், ஹீலிய அணுக் கரு என்று மெய்ப்பித்தல்

பயிற்சி 2. மூன்று டெஸ்லா அளவுடைய ஒரு சீரான காந்தப் புலத்தினூடே 3.2×10^{-19} கூலும் மின்னூட்டம் கொண்ட ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் செலுத்தப்படுகின்றன. அவற்றின் திசைவேகம், காந்தப் புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையிலும் 1.5×10^7 மீட்டர்/செகண்டு அளவுடையதாகவும் இருக்கிறது. காந்தப் புலத்தின் விசையால் அந்த ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் பாதை விலக்கமுற்று 0.105 மீட்டர் வட்டத்தட ஆரமுள்ள பாதையில் செல்கின்றன என்ருல், ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் நிறையைக் காண்.

விடை : காந்தப் புலத்தினுல் ஏற்படும் விசை $= BEv$

$= 3 \times 3.2 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 10^{7}$ டெஸ்லா . கூலும் மீட்டர் செகண்டு$^{-1}$

$= 14.4 \times 10^{-12}$ $(T.C.\ MS^{-2})$

(டெஸ்லா) (கூலும்)

(மீட்டர் செகண்டு$^{-1}$)

= (வோல்ட், செகண்டு, மீட்டர்$^{-2}$)
(ஆம்பியர் . செகண்டு) (மீட்டர் . செகண்டு$^{-1}$)

= (வோல்ட் . ஆம்பியர்) மீட்டர்$^{-1}$ செகண்டு

= (வாட்) மீட்டர்$^{-1}$ செகண்டு

= (கி. கிராம் . மீட்டர்^{2} செகண்டு$^{-3}$)
. மீட்டர்$^{-1}$ செகண்டு

= (கி. கிராம்) (மீட்டர் . செகண்டு$^{-2}$)

= நியூட்டன்

$\therefore \; BEv = 14.4 \times 10^{-12}$ நியூட்டன்

$$BEv = \frac{mv^2}{R}$$

$$\therefore \quad m = \frac{BEv . R}{v^2}$$

$$= \frac{14.4 \times 10^{-12} \,.\, 0.105}{1.5 \times 10^{7} \times 1.5 \times 10^{7}} \cdot \frac{\text{நியூட்டன் மீட்டர்}}{(\text{மீட்டர் . செகண்டு}^{-1})^2}$$

$= 6.6 \times 10^{-27}$ கி.கிராம் . மீட்டர் . செகண்டு$^{-2}$ மீட்டர்

$= 6.6 \times 10^{-27}$ கி.கிராம்

2.5 காமாக் கதிர்கள்

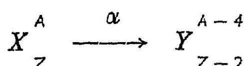
காமாக் கதிர்கள், மிக அதிகமாகப் பொருள்களினுள் ஊடுருவும் தன்மை பெற்றவை எனினும் அவைகளை மின், மற்றும் காந்தப் புலத்தினுல் பாதைவிலக்கம் அடையச்செய்ய இயலவில்லை. எனவே, அவை மின்னூட்டமுடையவை அல்ல என்பது தெளிவாகிறது. அவை, எக்ஸ்-கதிர்களைப் போன்ற மின்காந்த அலை வகையைச் சார்ந்தவை என்றும், எக்ஸ்-கதிர்களைவிட மிகக்குறைந்த அலை நீளத்தையுடையன என்றும் பிற்காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

காமாக் கதிர்களின் பண்புகளைப் பிறிதோர் இடத்தில் விரிவாகக் காண்போம்.

2.6 கதிரியக்கப் பெயர்ச்சி விதி (Displacement Law)

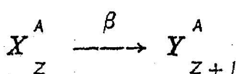
ருதர்ஃபோர்டும், சாடி (Soddy)யும் தனிமங்களில் கதிரியக்கம் ஏற்படும்போது நிகழும் மாறுதல்களைக் கணித்துப் பின்வரும் உண்மைகளை எடுத்துரைத்தார்கள்.

ஒரு தனிமம் கதிரியக்கத்தினால் சிதைவுறும்போது, ஒரு புதிய தனிமம் உண்டாகிறது, எனவே (i) ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம், ஓர் ஆல்ஃபாத்துகள் வீசுமேயாகில் அந்த அணு நிறை எண்ணை (A) விட நான்கு எண்கள் குறைந்த நிறை எண் உடையதாகவும், அதன் அணு எண்ணைவிட இரண்டு எண்கள் குறைந்த அணு எண் உடையதாகவும் உள்ள ஒரு புதிய அணு எஞ்சி நிற்கிறது.



$$X^{A}_{Z} \xrightarrow{\alpha} Y^{A-4}_{Z-2}$$

(ii) ஒரு கதிரியக்கத்தனிமம், ஒரு பீட்டாத்துகள் வீசுமேயாகில் அதே அணு நிறை எண் உடையதாகவும், அதைவிட ஓர் எண் கூடிய அணு எண் உடையதாகவும் உள்ள ஒரு புதிய அணு எஞ்சி நிற்கிறது.



$$X^{A}_{Z} \xrightarrow{\beta} Y^{A}_{Z+1}$$

ருதர்ஃபோர்டும் கைகரும், ஓர் அணுவினால் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் அடையும் சிதறல் கோணங்களிலிருந்து ஆல்ஃபாக் கதிர்கள், ஹீலிய அணுக்கருதான் என்பதை மெய்ப்பித்தார்கள். எனவே, அவைகளை ஹீலிய அணுக் கருத் துகள் எனவும் அழைப்பதுண்டு. மேற்குறிப்பிட்ட பெயர்ச்சி விதியைக்கொண்டு, கதிரியக்கத் தனிமங்கள் தனிம அட்டவணையில் பொருந்தும் இடங்கள் தெளிவாகிறது. ஆனால் 1911ஆம் ஆண்டு வரையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சுமார் 40 கதிரியக்கத் தனிமங்களும், அவற்றின் வேதியியல் பண்புகளைப் பொறுத்துத் தனிம அட்டவணையில் பத்து அல்லது பன்னிரண்டு இடங்களுக்கு ஒருசேரப் பொருந்துமாறு இருந்தன. இது மிகவும் குழப்பமான ஒரு நிலையைத் தோற்றுவித்தது. மேலும் கதிரியக்கத் தனிமங்களுக்கு இடப்பட்ட பெயர்களும் இந்தக் குழப்பத்தை அதிகரித்தன. சாடி (Soddy) அவர்கள் ஐசோடோப்புகள்

(ஒரே இடத்தில் பொருந்தக் கூடியவை) என்று சில தனிமங்களை வகைப்படுத்தி, அவை தனிம அட்டவணையில் ஒரே இடத்தை நிரப்பக் கூடிய வேதியியல் பண்பு பெற்றவை என்பதை உணர்த்தினார். அணு இயற்பியலில் மிகச்சிறந்த ஆய்வுகளைக் கண்ட ஆஸ்டன் (Aston), தாம்ஸன் இவர்கள், தங்களின் ஆய்வுகளின் மூலம், சாடியின் கூற்றை உறுதிப்படுத்தினார்கள். எடுத்துக்காட்டாக ரேடான் என்ற தனிமத்திற்கு 13 ஐசோடோப்புகள் உள்ளன. அவற்றின் வேதியியல் பண்புகள் அனைத்தும் ஒன்றாகும்; ஆனால் அணு நிறை எண் வேறானது. எனவே இயற்பியல் பண்புகள் மாறுபட்டவை. கதிரியக்க இயல்புகளும் வேறுபட்டவை. இயற்கையில் தற்போது மூன்று கதிரியக்கத் தொடர்கள் உள்ளன என்றும் அறிகிறோம். இந்தத் தொடர்களை அறிவது தனிம அட்டவணையில் கதிரியக்கத் தனிமங்களின் இடத்தை அறிய உதவும். இந்தத் தனிமங்களின் பெயர்களை வரலாற்றுச் சிறப்பு ஒன்றைத்தவிர, மற்றபடி தனிச்சிறப்பு எதுவுமில்லாத பழைய பெயரிடுமுறையில் குறிக்காமல், தற்காலப் பெயரிடு முறையைப் பின்பற்றிக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்.

தோரியம் (*4n*) தொடர்



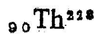
↓ α



↓ β



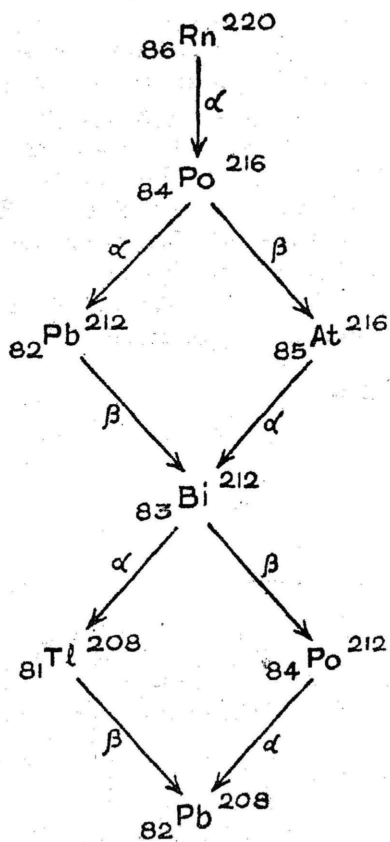
↓ β



↓ α

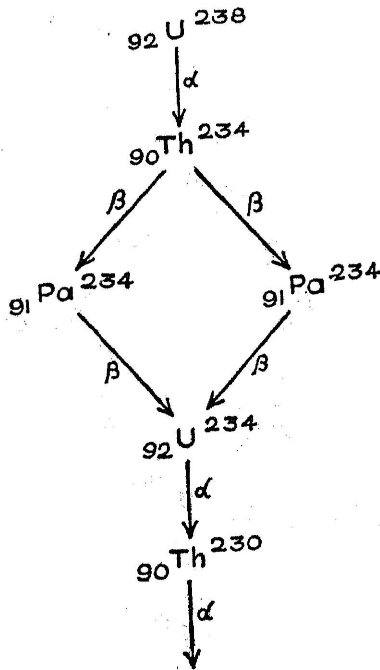


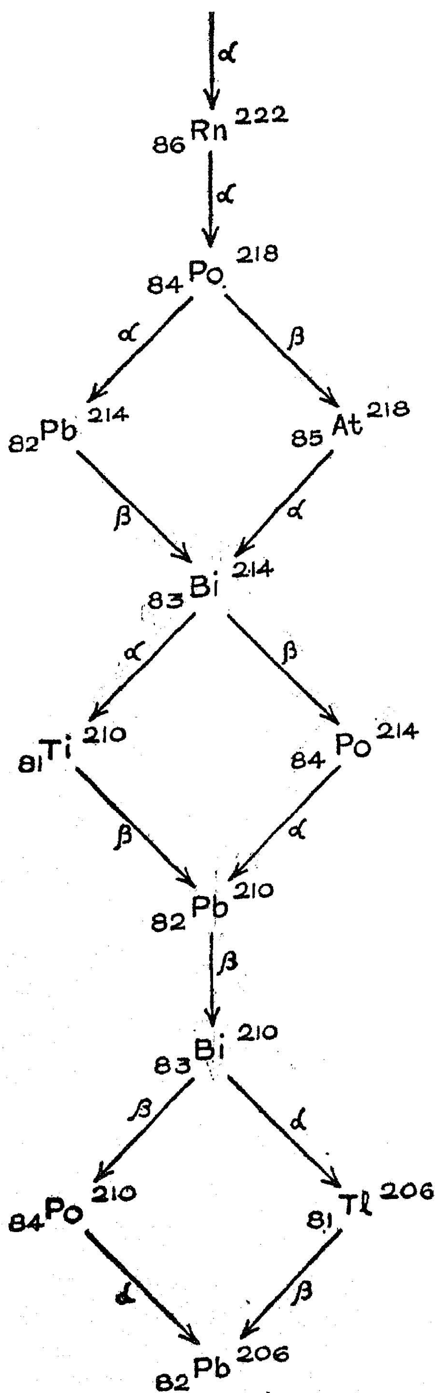
↓ α



(சிதையா நிலைப்பாடுடையது)

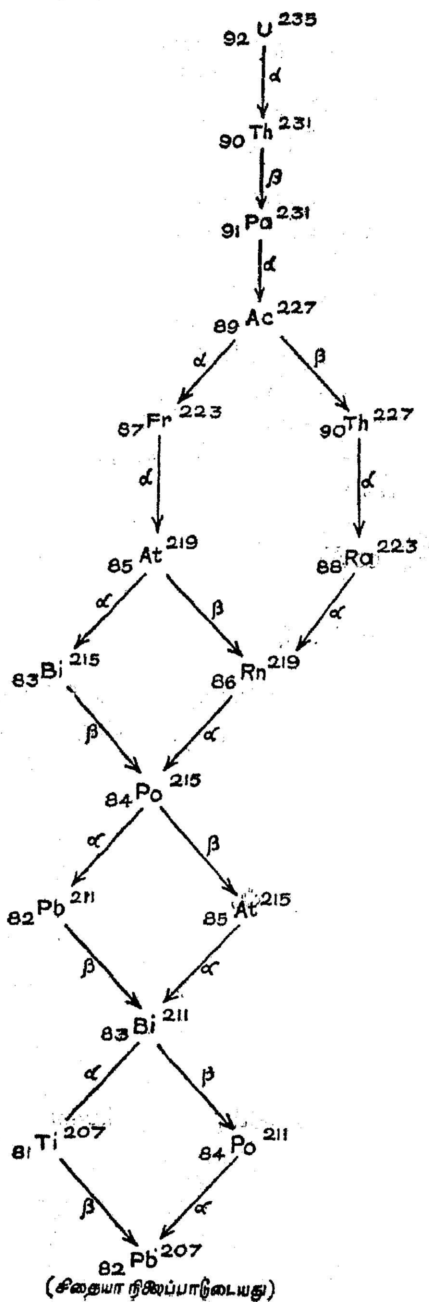
யுரேனியம் — ரேடியம் $(4n+2)$ தொடர்





(சிதையா நிலைப்பாடுடையது)

ஆக்டினியம் $(4n+3)$ தொடர்



2.7 கதிரியக்கம் பற்றிய விதிகள்

கி.பி.1903ஆம் ஆண்டு ருதர்ஃபோர்டு, மற்றும் சாடி இருவரும் தங்களின் ஆழ்ந்த ஆய்வின் பயனாகக் கதிரியக்கம் ஒரு குறிப்பிட்ட விதியை அனுசரித்திருக்கிறது என்று கண்டார்கள். இந்த விதியை எக்ஸ்பொனன்ஷியல் விதி (Exponential law) எனலாம்.

ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாத் துகளை வீசும் தனிமம் வேறொரு தனிமமாக மாறுவதால் கதிரியக்கமுடைய எந்தத் தனிமமும், சிறிது சிறிதாகத் தன் அளவில் குறைந்துகொண்டே செல்லும். எந்த ஒரு நொடியிலும் கதிரியக்கத்தால் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை அந்த நொடியில் இருக்கின்ற கதிரியக்க இயல்புகொண்ட தனிமத்தின் மொத்த அணுக்களைச் சார்ந்து இருக்கிறது என்பதை இவர்கள் கண்டார்கள். அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் N_t கதிரியக்கத் தனிம அணுக்கள் இருக்கின்றனவென்று கொண்டால் அந்த நொடியில் சிதையும் அணுக்களின் வீதம், N_tக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$-\frac{dN_t}{dt} \propto N_t \qquad (2\cdot15)$$

$$-\frac{dN_t}{dt} = \lambda \,.\, N_t \qquad (2\cdot16)$$

அணுக்கள் சிதைகின்றன என்பதை (−) குறியீடு காட்டுகின்றது. λ என்பது ஒரு மாறிலியாகும். இதைச் சிதைவு மாறிலி (Decay Constant) எனலாம்.

$$\frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \,.\, dt \qquad (2\cdot17)$$

தொகு ஆக்கம் செய்தால்,

$$\int \frac{dN_t}{N_t} = -\lambda \int dt$$

$$\ln N_t = -\lambda t + k \qquad (2\cdot18)$$

k = தொகு ஆக்கு மாறிலி

முதன் முதலில் $t = 0$ நேரத்தில், N_0 கதிரியக்க அணுக்கள் இருந்ததாகக் கொள்வோம்.

$$\ln N_0 = 0 + k$$

$$\therefore k = \ln N_0 \qquad (2\cdot19)$$

எனவே, சமன்பாடு (2·18)

$$ln\ N_t = -\lambda t + ln\ N_0 \qquad (2\cdot 20)$$

என்றாகிறது.

$$\therefore ln \frac{N_t}{N_0} = -\lambda t$$

$$\therefore N_t = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2\cdot 21)$$

2.8 அரை ஆயுட்காலம் (Half - life period) (T)

ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம், சமன்பாடு (2.21)-ன் படி எப்பொழுதும் சிதைந்துகொண்டேயிருப்பதால், அதன் கதிரியக்கப் பண்பைத் தெரிந்துகொள்ள இயலும் வகையில் ரூதர்ஃபோர்டு 'அரை ஆயுட்காலம்' என்ற அலகு ஒன்றைப் புகுத்தினார். 'ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம், தன் துவக்க அளவில் பாதியாகச் சிதைவதற்குத் தேவைப்படும் காலம், அந்தத் தனிமத்தின் அரை ஆயுட்காலம்' (T) எனப்படும்.

சமன்பாடு (2-21)ல் $N_t = \frac{N_0}{2}$ என்றானால்

$$t = T$$

$$\therefore \frac{N_0}{2} = N_0\, e^{-\lambda T}$$

$$\therefore e^{\lambda T} = 2 \qquad (2\cdot 22)$$

இரு பக்கமும் லாகரிதமாக்க,

$$\lambda T = ln\ 2$$

$$= 2\cdot 303 \log_{10} 2$$

$$\therefore T = \frac{0.6931}{\lambda} \qquad (2\cdot 23)$$

அரை ஆயுட்காலம், ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் சிறப்பு எண். அதை அறிவதால் கிடைக்கும் பயனைப் பின்னர் உணரமுடியும்.

2.9 கதிரியக்கத் தனிமத்தின் சராசரி ஆயுள் (Mean life) (τ)

ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் சராசரி ஆயுள் $\frac{1}{\lambda}$ ஆகும் எனக் காணலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் (t), N கதிரியக்க அணுக்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அடுத்த dt நொடியில், dN அணுக்கள் சிதைவுறுவதாகக் கொள்வோம்,

இந்த 'dN' அணுக்களும், சுமார் 't' நேரம் சிதையாமல் வாழ்ந்திருக்கின்றன. எனவே, அவற்றின் மொத்த ஆயுள்நேரம் $t \cdot dN$ ஆகும். இவ்வாறு, N_0 அணுக்களும் வாழ்ந்திருக்கும் மொத்த ஆயுள்நேரம், $t \cdot dN$-ஐத் தொகுத்தால் கிடைப்பதாகும்.

$$\text{எனவே, மொத்த ஆயுள் நேரம்} = \int_{N_0}^{0} t \cdot dN \qquad (2 \cdot 24)$$

$$\text{சராசரி ஆயுள் } T = \frac{\text{மொத்த ஆயுள் நேரம்}}{\text{மொத்தக் கதிரியக்க அணுக்கள்}} \qquad (2 \cdot 25)$$

$$= \frac{1}{N_0} \int_{N_0}^{0} t \cdot dN \qquad (2 \cdot 26)$$

சமன்பாடு $(2 \cdot 16)$-ன்படி $dN = -\lambda \cdot N_t \cdot dt$

சமன்பாடு $(2 \cdot 21)$ன்-படி $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\text{ஆகவே } dN = -\lambda N_0 \, e^{-\lambda t} \cdot dt \qquad (2 \cdot 27)$$

எனவே, சமன்பாடு $(2 \cdot 26)$-ன்படி

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \cdot (\lambda N_0 \, e^{-\lambda t} \cdot dt)$$

$$\tau = \lambda \int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt$$

$$\tau = \lambda \int_0^{\infty} \cdot \frac{t \cdot d\left(e^{-\lambda t}\right)}{\lambda}$$

$$= \left[t \cdot e^{-\lambda t} - \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \cdot dt \right]$$

$$= \left[-te^{-\lambda t} - \frac{1}{\lambda} \left[e^{-\lambda t} \right] \right]_0^{\infty}$$

$$\therefore \tau = \frac{1}{\lambda} \qquad (2 \cdot 28)$$

2.10 கதிரியக்க அலகுகள்

ஒரு தனிமத்தின் கதிரியக்கத்தை அளவிடும் அலகு 1 கியூரி (Curie) எனப்படும். ஒரு தனிமத்தின், ஒரு நொடியில் சிதையும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கதிரியக்கச் செயல் திறன் (Activity) R எனக் குறிப்பது வழக்கம்.

$$R = \frac{dN}{dt} = \lambda N \qquad (2\cdot29)$$

ஒரு கதிரியக்கத்தனிமம் ஒரு நொடியில் $3\cdot7 \times 10^{10}$ சிதைவுகளை அடையும் தன்மை பெற்றிருந்தால் அந்தத் தனிமத்தின் கதிரியக்கச் செயல் திறன் (R) ஒரு கியூரி எனப்படும். ஒரு கிராம் ரேடியம், ஒரு நொடியில் $3\cdot7 \times 10^{10}$ சிதையும் தன்மையைப் பெற்றிருப்ப தால், இந்த அலகு மேற்கொள்ளப்பட்டது. மில்லி கியூரி (1×10^{-3} கியூரி), மற்றும் மைக்ரோ கியூரி (1×10^{-6} கியூரி) இவை, வழக்கத்திலுள்ள அலகுகள் ஆகும். ஒரு கதிரியக்கத்தனிமம் 10^6 சிதைவுகள் ஒரு நொடியில் அடையுமானால், அதன் செயல்திறன் (R) ஒரு ருதர்ஃபோர்டு (one Rutherford) என்ற மற்றோர் அலகும் தற்போது வழக்கத்தில் உள்ளது.

$dN = 3.7 \times 10^{10}$ சிதைவுகள் எனில் $R = 1$கியூரி

$dN = 3.7 \times 10^{7}$ சிதைவுகள் எனில் $R = 1$ மில்லி கியூரி

$dN = 1 \times 10^{6}$ சிதைவுகள் எனில் $R = 1$ருதர்ஃபோர்டு

2.11 அடுத்தடுத்துச் சிதைவுறுதலும் கதிரியக்கச் சமநிலையும்

A என்றதொரு கதிரியக்கத் தனிமம் சிதைவுற்று B என்ற தொரு கதிரியக்கத் தனிமமாகவும்; B சிதைவுற்று C என்ற மற்ற தொரு தனிமமாகவும் ஆகுமேயானால் இந்த A தனிமம் அடுத் தடுத்துச் சிதைவுறும் வகையைச் சார்ந்தது எனலாம். C-ம் சிதை வுற்றால், இந்தத் தொடர் சிறிது சிக்கலானதாகும். அவ்வா றில்லாமல் C ஒரு சிதைவுறு நிலைப்பாடுடையதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது 'A' என்ற முதல் தனிமமும், B என்ற, A வழிவந்த தனிமமும்தான் கதிரியக்கத் தன்மையுடையனவாகும்.

λ_1 சிதைவு எண் உள்ள A தனிமம், ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்தில் (t செகண்டு) N_1 அணுக்கள் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அதே நேரத்தில், B தனிமம், N_2 அணுக்கள் கொண்டிருப்ப தாகவும் கொள்வோம். B தனிமத்தின் சிதைவு எண் λ_2 என்று கொள்வோம்,

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \qquad (2\cdot30)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \qquad (2\cdot31)$$

$\lambda_1 N_1$ என்பது தனிமம் B உண்டாகும் வீதம். $\lambda_2 N_2$ என்பது தனிமம் B சிதைவுறும் வீதம். எனவே $(\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2)$ என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில், தனிமம் B அணுவின் எண்ணிக்கையின் அதிகரிப்பைக் காட்டும்.

N_1° என்பது, A என்ற தனிமம் $t=0$ நேரத்தில் இருந்த மொத்த அணுக்கள் என்றால்

$$N_1 = N_1^\circ e^{-\lambda_1 t} \qquad (2\cdot32)$$

என்பது சமன்பாடு (2·30)-ன் தீர்வையாகும். இதுபோன்று சமன் பாடு (2·31)-ன் தீர்வைப் பொதுவாக,

$$N_2 = Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t} \qquad (2\cdot33)$$

எனக் குறிக்கலாம்.

A, B இவை மாறிலிகள்.

$t=0$ என்ற நேரத்தில், தனிமம் B இருந்ததில்லை. எனவே, $N_2=0$ ஆகவே (2·33) சமன்பாட்டில் இதைப் பதிலீடு செய்தால்

$$0 = A + B$$

$$A = -B \text{ ஆகும்} \qquad (2\cdot34)$$

எனவே,

$$N_2 = A\left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda t_2}\right] \qquad (2\cdot35)$$

சமன்பாடு (2·35)ஐப் பகுத்தால்,

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 Ae^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 Ae^{-\lambda_2 t} \qquad (2\cdot36)$$

மேலும், $t=0$ என்ற நேரத்தில்,

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 A + \lambda_2 A \qquad (2\cdot37)$$

மேலும், சமன்பாடு (2·31)ன் படி,

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1^\circ \qquad (2\cdot38)$$

சமன்பாடு (2·38)லிருந்து $\frac{dN_2}{dt}$யின் மதிப்பைச் சமன்பாடு (2·37)-ல் பதிலீடு செய்தால்,

$$\lambda_1 N_1^0 = -\lambda_1 A + \lambda_2 A$$

எனவே,

$$A = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1^0 \tag{2·39}$$

Aயின் இந்த மதிப்பைச் சமன்பாடு (2·35)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$N_2 = N_1^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}\right) \tag{2·40}$$

எனவாகிறது.

A, B என்ற தனிமங்கள் இரண்டின் சிதைவு எண்களும் ஏறத்தாழ ஒரே அளவாக இருக்குமானுல், முதலில் B அணுக்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகிப் பெருமத்தை அடைந்து பின்னர் இரண்டினுள் அதிக ஆயுள் நேரம் (அல்லது குறைந்த சிதைவு எண்) கொண்ட தனிமத்தின் சிதைவு எண் வீதத்தில் சிதைகிறது.

2.11·1 நிலையற்ற சமநிலை (Transient Equilibrium)

$\lambda_1 < \lambda_2$ எனக் கொள்வோம்.

இப்போது $e^{-\lambda_2 t}$யின் அளவு மிக விரைவாகக் குறைந்து மறைந்து போகும். எனவே, சிறிது நேரம் கடந்த பிறகு சமன்பாடு (2·40)ன்படி,

$$N_2 = N_1^0 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} \tag{2·41}$$

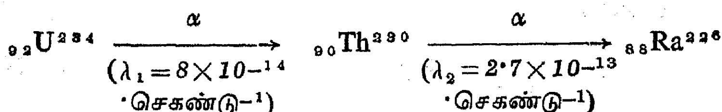
$$\therefore \quad N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot N_1 \tag{2·42}$$

அதாவது, A, B என்ற இரு தனிமங்களும், இப்பொழுது Aயின் சிதைவு வீதத்தில் சிதைகிறது.

$$\text{ஆனுல்} \; \frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \text{ஒரு மாறிலி} \tag{2·43}$$

ஆதலால், எந்த ஒரு நேரத்திலும், $\frac{N_2}{N_1}$ ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். ஆகவே இவ்வாறு N_2 மற்றும் N_1 இவை இரண்டின்

எண்ணிக்கையும், நேரம் செல்லச் செல்ல குறைந்துகொண்டே யிருந்தும் $\frac{N_2}{N_1}$ ஒரு மாறிலியாக இருக்கிறது. இந்தத் தன்மையை யுடைய இரு தனிமங்கள், 'நிலையற்ற சமநிலை' உடையனவாகக் கொள்வோம். காட்டாக,



2.11·2 உறுதிச் சமநிலை (Permanent Equilibrium)

$\lambda_1 \ll \lambda_2$ ஆக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது தாய் அணுக்கருவின் ஆயுள் மிகமிக அதிகமாகும். எனவே $e^{-\lambda_1 t}$ யின் மதிப்பு = 1 ஆகும். ஆகவே சமன்பாடு (2·40)

$$N_2 = N_1{}^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left[1 - e^{-\lambda_2 t} \right] \qquad (2{\cdot}43)$$

எனவாகும்.

சிறிது காலம் கடந்த பிறகு, $e^{-\lambda_2 t}$ யின் மதிப்பு, மிகவும் குறைந்து '0' ஆகும். எனவே,

$$N_2 = N_1{}^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$N_1 = N_1{}^0 . e^{-\lambda_1 t} = N_1{}^0 \; [\because \lambda_1 \approx \text{மிகவும் சிறியது}.$$

$$\therefore \frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (2{\cdot}44)$$

$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ ஒரு மாறிலியாதலால், சேய் அணுவின் அளவு மாருத ஒன்ருகும். காட்டாக,



பயிற்சி 3. ஒரு கிராம் நிறையுள்ள $_{88}Ra^{226}$ ன் கதிரியக்கச் செயல் திறன் காண்க.

விடை: $_{88}Ra^{226}$ அணுக்கரு, கதிரியக்கம் காரணமாக, ஆல்ஃபாத் துகள்களை வீசி $_{86}Rn^{222}$ ஆக மாறுகிறது. இந்த $_{88}Ra^{226}$ அணுக்கருவின் அரை ஆயுட் காலம் $T = 1620$ வருடமாகும்.

$\therefore \lambda = \frac{0 \cdot 693}{T} = 1 \cdot 36 \times 10^{-11}$.செகண்டு$^{-1}$. ஒரு தனிமத்தின் ஓர் அணு எடைக்கு 'அவாகட்ரோ எண்' (Avagadro number) அளவு அணுக்கள் இருக்கும். எனவே, 1 கிராம் R^{226}ல் அடங்கியுள்ள அணுவின் எண்ணிக்கை $(N) = \frac{6 \cdot 025 \times 10^{23}}{226}$ ஆகும்.

$N = 2 \cdot 67 \times 10^{21}$ அணுக்கள்.

$\therefore$ செயல்திறன் $(R) = \lambda N$

$= 1 \cdot 36 \times 10^{-11} \times 2 \cdot 67 \times 10^{21}$ அணுக்கள்.செகண்டு$^{-1}$

$= 3 \cdot 7 \times 10^{10}$ அணுக்கள்.செகண்டு$^{-1}$

$= 1$ கியூரி

பயிற்சி 4. இன்று ஒரு கிராம் நிறையுள்ள கதிரியக்க ரேடியம் 100 வருடங்களுக்குப்பிறகு எவ்வளவு நிறையுடையதாயிருக்கும். (ரேடியத்தின் அரை ஆயுட் காலம் = 1620 வருடம்).

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_0 = 1$ கிராம்

$\lambda = \frac{0 \cdot 693}{1620}$ வருடங்கள்$^{-1}$

$$\log \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

$$\log \frac{N_0}{N} = \frac{0 \cdot 693}{1620} \times 100$$

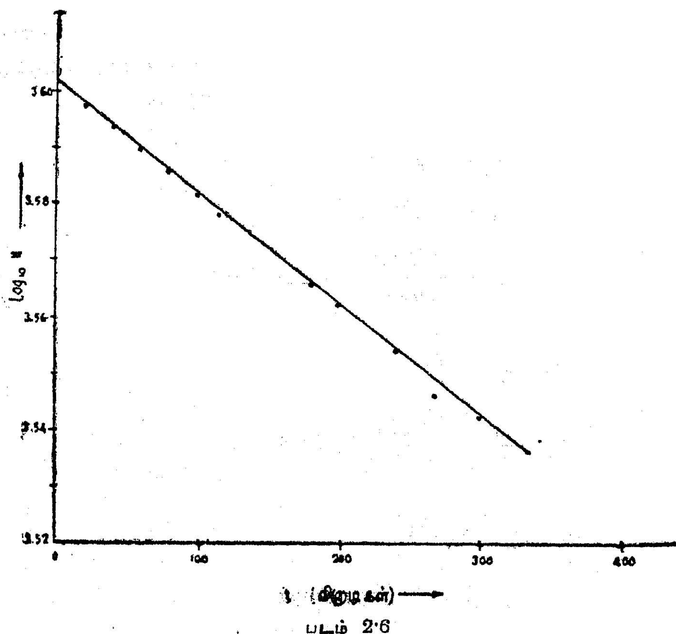
$$\therefore \frac{N_0}{N} = 1 \cdot 04$$

$\therefore N = 0 \cdot 96$ கிராம்கள்

பயிற்சி 5. துகள் உணர் கருவியொன்றின் மூலம், கதிரியக்கம் கொண்ட ஒரு தனிமத்தின் கதிரியக்கத் துகள்களை எண்ணிய விவரம் அடுத்துக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதைப் பயன்படுத்தி, அந்தத் தனிமத்தின் அரை ஆயுட்காலம், சிதைவு எண் இவற்றைக் காணவும். மேலும் $t = 0$ நேரத்தில் சிதைவு வீதம் காண்க.

கால அளவு (நொடியில்)	எண்ணிக்கை வீதம் (ஒரு நொடியில்)	கால அளவு (நொடியில்)	எண்ணிக்கை வீதம் (ஒரு நொடியில்)
20	3963	180	3681
40	3926	200	3648
60	3890	240	3581
80	3855	270	3532
100	3819	300	3483
120	3779	360	3436

விடை: எண்ணும் கருவி தரும் எண்ணிக்கை சிதைவு வீதத்தைக் குறிப்பதால் λ மற்றும் T இவைகளைக் காணுதல் எளிது.



படம் 2·6

பயிற்சி 5-ன் $\log_e N—t$ வரைபடம்

$$2{\cdot}303 \log_{10} \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

$$\therefore\ 2{\cdot}303 \log_{10} N_0 - 2{\cdot}303 \log N = \lambda t$$

$$\log N = -\frac{\lambda}{2\cdot 303} t + \log N_0$$

$\log_{10} N$-க்கும், t-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது ஒரு நேர்கோடாக அமையும். அது எண்ணிக்கை அச்சில் வெட்டும் புள்ளியின் மதிப்பு $\log N_0$ ஆகும். மேலும் அந்தக் கோட்டின்

வாட்டம் $= \frac{\lambda}{2\cdot 303}$ ஆகும்.

வரைபடத்திலிருந்து $N_0 = 4000$ எண்ணிக்கைகள்/செகண்டு$^{-1}$
$\lambda = \cdot 00046$ செகண்டு$^{-1}$

2.12 இந்த நிலவுலகம் தோன்றிய காலத்தைக் கணக்கிடல்

கதிரியக்க விதிகளைப் பயன்படுத்தி, நாம் வாழும் இந்த உலகத்தின் வயதைக் கணக்கிடல் மிகச் சுலபமாகும். உலகம் ஏதோ ஒரு வகையில் பிறந்திருக்கிறது. அவ்வாறு உண்டாகும்போது அதில் எல்லாத் தனிமங்களும் தத்தமது ஐசோடோப்புகளைச் சம அளவு கொண்டதாக இருந்திருக்கும் எனக் கொள்ளலாம். குறிப்பாக $_{92}U^{235}$-ம், $_{92}U^{238}$-ம் $1:1$ என்ற விகிதத்தில் இருந்திருக்கும். ஆனால், ஆண்டுகள் செல்லச்செல்ல இவற்றின் கதிரியக்கத் திறனையொட்டி அவற்றின் விகிதம் மாறுபடும் என்பதை அறிவோம். ஒரு யுரேனியக் கனியில் U^{235} மற்றும் U^{238} இவற்றின் இப்பொழுதைய நிறையின் விகிதத்தைக் கண்டோமேயாயின் அவற்றின் கதிரியக்கச் சிதைவு எண்களிலிருந்து அவை எத்தனை ஆண்டுக்கு முன்பு $1:1$ என்ற விகிதத்தில் இருந்திருக்கக் கூடும் என்று அறிதல் எளிது. அதுவே நிலவுலகு பிறந்தநாளைக் குறிப்பதாக அமையும்.

தற்பொழுது U^{238} ஐசோடோப்புகள் $N_{t_{238}}$ எண்ணிக்கையுடையதாயிருக்கட்டும். λ_1 என்பது அதன் சிதைவு எண் என்றால்,

$$N_{t_{238}} = N_{o_{238}} \, e^{-\lambda_1 t} \qquad (2\cdot 45)$$

இதுபோலவே, U^{235} ஐசோடோப்புகளின் தற்கால எண்ணிக்கை $N_{t_{235}}$ என இருந்தால்,

$$N_{t_{235}} = N_{o_{235}} \, e^{-\lambda_2 t} \qquad (2.46)$$

$\lambda_2 \rightarrow U^{235}$ ன் சிதைவு எண்

$$\therefore \quad \frac{N_{t_{238}}}{N_{t_{235}}} = \frac{N_{o_{238}}}{N_{o_{235}}} \, e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \qquad (2.47)$$

ஒரு நிறமாலை வரைவியின் உதவிகொண்டு U^{238}, U^{235} இவைகளின் தற்பொழுது உள்ள நிறை விகிதத்தைக் காணலாம். அது 137.8:1 என்றிருப்பதாக அளவிடப்பட்டிருக்கிறது.

$$\frac{N_{o_{238}}}{N_{o_{235}}} = 1 \text{ ஆதலால்}$$

$$\frac{N_{t_{238}}}{N_{t_{235}}} = 137 \cdot 8 = e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$$

$$\therefore t = \frac{ln\ 137 \cdot 8}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \tag{2·48}$$

$$\lambda_2 = 3 \cdot 08 \times 10^{-17} \cdot \text{செகண்டு}^{-1}$$

$$\lambda_1 = 0 \cdot 487 \times 10^{-17} \cdot \text{செகண்டு}^{-1}$$

$$\therefore t = 5 \cdot 8 \times 10^{9} \text{வருடங்கள்}$$

நிலவுலகு தோன்றிய காலத்தை இது குறிக்கும்.

வினக்கள்

1. கதிரியக்கம் என்பது என்ன? கதிரியக்கத்தால் வீசப்படும் துகள்களின் இயல்புகளையும் பண்புகளையும் குறிப்பிடுக.
2. ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்களின் இயல்புகளை ஒப்பிடுக.
3. ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் ஹீலிய அணுக்கருக்கள்தாம் என்றும், பீட்டாக் கதிர்கள் எலக்ட்ரான்கள்தாம் என்றும் உறுதிப் படுத்த மேற்கொண்ட சோதனைகளை விவரிக்கவும்.
4. ஆல்ஃபா, மற்றும் பீட்டாக் கதிர்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு காணும் சோதனை முறைகளைத் தெளிவாக விவரிக்கவும். அச் சோதனைகளின் முடிவுகளை விளக்கவும்.
5. கதிரியக்கத் தனிமத்தின் 'சிதைவு எண்', 'அரை ஆயுட் காலம்', 'சராசரி ஆயுட்காலம்' இவற்றை வரையறுத்து விளக்கவும். கதிரியக்க விதிகளைக் காண்.
6. அடுத்தடுத்துக் கதிரியக்கக் கதிர்களை வீசும் தனிமங்களின் கதிரியக்கச் சமநிலைகளை விவரிக்கவும்.
7. இயற்கைக் கதிரியக்கத்தைப் பயன்படுத்தி, நாம் வாழும் பூமி தோன்றிய காலத்தை அறியும் முறையை விளக்குக.

8. 10 மில்லி கியூரி கதிரியக்கச் செயல்திறன் கொடுக்கத் தேவையான $_{84}Po^{210}$–ன் நிறையைக்காண் ($_{84}Po^{210}$ அரை ஆயுட்காலம் 138 நாட்கள்).

9. 20 நாள்கள் அரைஆயுட்காலம் கொண்ட ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் முதன் முதலில் 10^6 அணுக்கள் கொண்டதாக இருந்தால், 50 நாளில் சிதையக்கூடிய அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் காண்.

10. 200 மில்லிகிராம் ரேடியத்திலிருந்து ($\lambda = 1{\cdot}37 \times 10^{-11}$ செகண்டு$^{-1}$) ஒவ்வொரு நொடியிலும் கிடைக்கக்கூடிய ரேடான் ($\lambda = 2{\cdot}1 \times 10^{-6}$ செகண்டு$^{-1}$) அளவைக் கண்டு பிடி. ரேடியம்-ரேடான் தனிமங்கள் சமநிலை அடைந்த பிறகு கிடைக்கக் கூடிய ரேடானின் பெரும அளவு நிறையைக் காண்.

11. புதிதாகத் தயாரிக்கப்பட்ட $_{83}Bi^{120}$ என்ற தனிமம் 2×10^{-10} கிராம்கள் நிறையுள்ளது. அது 5 நாள்கள் அரை ஆயுட்காலம் உள்ளதாகவும், பீட்டாக் கதிர்களை வீசுவதாகவும் இருக்கிறது. எனவே, அதனால் ஏற்படும் $_{84}Po^{210}$ என்ற சேய்க்கரு 138 நாள்கள் அரை ஆயுட் காலம் கொண்டதாகவும் இருக்கிறது. இந்த இரு தனி மங்களின் சேர்க்கையை மூலப்பொருளாகக் கொண்டு, அதைச் சிலகாலம் அப்படியே வைத்திருந்தால், எப்பொழுது மிக அதிகமான $_{84}Po^{210}$ அணுக்கள் கிடைக் கும் என்பதையும் அந்தப் பெரும அளவு என்ன என்பதை யும் காண்க.

12. வெவ்வேறு நேரத்தில் எண்ணப்பட்ட ஒரு கதிரியக்கச் சிதைவு வீதம் கீழே குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. சிதைவு வீதத்தைப் பகுதி-லாகரிதம் (Semi-log) வரைபடத்தில் குறித்து, அந்தத் தனிமத்தின் அரை ஆயுட்காலம், சிதைவு எண் இவற்றைக் காண்க.

நேரம் (நொடியில்)	சிதைவு வீதம் (ஒரு நொடியில்)	நேரம் (நொடியில்)	சிதைவு வீதம் (ஒரு நொடியில்)
30	10,300	240	3,614
60	8,835	270	3,028
120	6,507	300	2,599
150	5,584	330	2,230
180	4,792	360	1,914
210	4,112		

13. யுரேனியக் கனிப்பொருள் ஒன்றில் இருக்கும் ஒவ்வொரு கிராம் யுரேனியத்திற்கும் $1 \cdot 3 \times 10^{-2}$ கிராம் Pb^{206} இருக்கிறது என்றால், அந்த யுரேனிய கனிப்பொருள் தோன்றிய காலத்தைக் கணக்கிடுக.

[யுரேனியத்தின் அரை ஆயுட்காலம் $T = 4 \cdot 5 \times 10^{9}$ வருடங்கள். யுரேனியத்தின் தனிமம் குறையும் அளவு மிகமிகக் குறைவு எனக் கொள்ளவும்.)

3. அணுக்கருத் துகள்கள்-பருப்பொருள் செயலெதிர்ச் செயல் பண்புகள்

(Interaction of Nuclear Particles with Matter)

3.1 துகள்களின் செயலெதிர்ச் செயலும் துகள் உணர் கருவிகளும்

ஆல்ஃபாத் துகள்களோ, புரோட்டான்களோ அல்லது மின்னூட்டமுடைய எந்த அணுக்கருத் துகள்களோ ஒரு பருப் பொருளின் ஊடே செல்லும்போது, அந்தப் பருப்பொருளின் அணுக்களை அயனியாக்குகின்றன. அல்லது அந்த அணுக்கள் 'கிளர்ச்சி' (excitation) பெறுமாறு செய்கின்றன. பருப் பொருளின் எலக்ட்ரான்கள், பொருளின் ஊடே செல்லும் துகள் களின் மின்னூட்டத்தால் ஏற்படும் கூலம் விசையால், ஒரு கணத் தாக்குக்கு (impulse) ஆளாகி உந்தப்படுகின்றன. இதனால் படிப் படியாகத் துகள்களின் ஆற்றல் பருப்பொருளின் அணுக்களுக்கு மாற்றப்பட்டு முடிவில் அவற்றின் ஆற்றல் முழுவதும் இழந்த நிலையில் பருப்பொருளினுள் நிறுத்தப்படுகிறது. இவ்வாறு துகள்கள் நிறுத்தப்படும் முறை, அணுவின் புறத்தே செயல்படும் முறையாகத்தான் பெரும்பாலும் அமைந்து உள்ளது. மிகச்சிறிய அளவில் அணுக்கருவின் அகத்திலும் செயல்படுதல் உண்டு. இவ்வாறு, அணுக்கருவின் அகத்தில், இந்தத் துகள்கள் செயல் படுத்தும் விளைவுகளை, விளக்கமாகப் பிறிதோர் இடத்தில் காண் போம். துகள்களின் இயல்பு, பண்பு மற்றும் தன்மை இவைகளைக் கண்டு பகுக்கும் கருவிகள் (Detectors) யாவும் பருப்பொருளில் இந்தத் துகள்கள் தோற்றுவிக்கும் அயனியாக்கம் அல்லது கிளர்ச்சி போன்ற ஏதோவொரு செயல்படுமுறையை ஒட்டி அமைக்கப்படுகின்றன. எனவே, பருப்பொருளூடே செல்லும் இந்தத் துகள்களின் செயலெதிர்ச் செயல் பண்புகளை அறிவது இன்றியமையாததாகிறது.

3.2 பருப்பொருளின் நிறுத்து திறன்

ஒரு பருப்பொருள், தன்னுள்ளே, ஓர் அலகு தொலைவு (unit length) செல்லும் ஒரு துகளின் ஆற்றலை எந்த அளவு இழக்கச் செய்கிறதோ, அந்த ஆற்றல் அப் பருப்பொருளின் நிறுத்து திறனைக் குறிப்பதாகக் கொள்வது மரபு. ஒரு பருப்பொருளின் நிறுத்து திறன் அப்பொருளினூடே செல்லும் துகள்களின் நிறையைப் பொருத்ததன்று என்பது ஒரு வியப்பான உண்மையாகும். ஆனால், அந்தத் துகள்களின் வேகத்தையும் அவற்றின் மின்னூட்டத்தையும், நிறுத்து திறன் பெரிதும் சார்ந்திருக்கிறது. காட்டாக, குறிப்பிட்ட வேகத்தில் செல்லும் ஒரு புரோட்டான் துகளுக்கு ஒரு பருப்பொருள் x என்ற ஒரு குறிப்பிட்ட நிறுத்து திறனைக் கொண்டிருந்தால், அதே வேகத்தில் செல்லும் மற்றொரு துகளுக்கு அந்தப் பருப்பொருள் $(z^2 \times x)$ அளவு நிறுத்து திறன் கொண்டதாகிறது. மேலும், துகள்களின் வேகம் குறையக் குறைய, பருப்பொருளின் அணுக்களும் துகள்களும் மோதும் நேரம் (time of impact) அதிகமாவதால் துகள்களின் ஆற்றல் மிக அதிகமாகப் பகிர்ந்துகொள்ளப்படுகிறது.

3.3 செல் தொலைவு (நெடுக்கம்) (Range)

அணுக்கருவியலில் நாம் அறிந்துகொள்ளவேண்டிய மற்றுமொரு, மிக அவசியமான சொற்றொடர் 'செல் தொலைவு' என்பதாகும். ஒரு துகள், ஒரு பருப்பொருளினூடே செல்லும்போது தன் ஆற்றல் முழுவதும் அப்பொருளினுள்ளேயே இழக்கத் தேவையான தொலைவு 'செல் தொலைவு' என்பதாகும். தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட குறிப்பிட்ட சில பருப்பொருள்களினுள் ஒரு துகளின் செல் தொலைவை, சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தோமேயானால் அந்தத் துகளின் வேகம் மற்றும் ஆற்றல் இவைகளை அறிய முடிகிறது. 1911ஆம் ஆண்டு கைகர் என்பவர் பல வருட ஆய்வுகளின் பயனாக, இயல்பான வெப்ப அழுத்தமுடைய காற்றினூடே (Air at N.T.P.) செல்லும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் செல் தொலைவுக்கும் அவற்றின் ஆற்றலுக்குமிடையே உள்ள தொடர்பைக் கண்டுபிடித்தார். அதைப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

$$R = aE^{\frac{3}{2}} \tag{3·1}$$

R — செல் தொலைவு

E — துகளின் ஆற்றல்

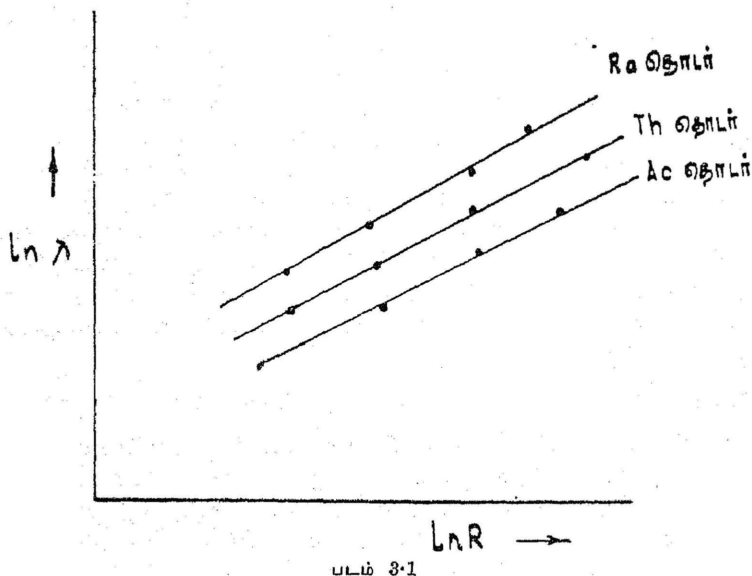
a — மாறிலி

மேலும் கைகர், நட்டால் (Nuttal) இவ்விருவரும், ஆல்ஃபாத் துகள்களின் செல் தொலைவுக்கும், அந்தத் துகள்களை வீசும் அணுக் கருவின் சிதைவு எண் (λ)-க்கும் உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்று கண்டார்கள்.

$$\text{Log}\lambda = A+B \log R \tag{3.2}$$

இது கைகர்-நட்டால் அனுபவ விதி (Empirical law) எனப்படும்.

இந்த விதி மிகக் குறுகிய காலமே வாழும் கதிரியக்கக் கருக்களின் சிதைவு எண்ணையும், மிகமிக அதிக காலம் வாழும் கதிரியக்கக் கருக்களின் சிதைவு எண்ணையும் கண்டுபிடிக்க உதவு



படம் 3·1

$ln\lambda$ lnR வரைபடமும் கைகர்-நட்டால் விதியும்

கிறது. இயற்கைக் கதிரியக்கத் தொடர்களின் $ln\lambda$, lnR இவற்றிற் கான தொடர்பைப் படம் (3·1) காட்டுகிறது.

நிறுத்து திறன் கொண்ட பருப்பொருள்கள், அதனூடே செல்லும் துகள்களிலிருந்து பகிர்ந்துகொள்ளும் ஆற்றலின் பெரும் பகுதி, அந்தப் பொருளின் அணுக்களை அயனியாக்கவே செலவழிக் கப்படுகிறது. இந்த வழி அயனியாக்கம், ‘முதன்மை அயனி யாக்கம்’ எனக் கூறப்படும். அணுக்களின் அயனியாக்கத்தினுல்,

தத்தமது தடங்களிலிருந்து வெளியேற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள், பல ஆயிரம் எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றல் பெற்றதாக இருத்தல் கூடும். அவ்வாறுன எலக்ட்ரான்கள், பருப்பொருளில் தாமே அயனியாக்கத்தை உண்டாக்கும் ஆற்றல் பெற்றிருப்பதால் அவை மேன்மேலும் 'இரண்டாம்நிலே அயனியாக்கத்தை'த் தோற்று விக்கின்றன. இதனுல் படிப்படியாக, அயனிகள் எண்ணிக்கை பெருகிக்கொண்டு போகும். ஆற்றல் பகிர்ந்துகொள்ளப்படுவதால் அயனிகளின் ஆற்றலும் குறைந்துகொண்டே போகும். இந்த அயனிகளின் ஆற்றல் எப்பொழுது புதியதோர் அயனியாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கத் தேவையான ஆற்றலேவிடக் குறைகிறதோ அப் பொழுது இந்த அயனியாக்கச் சங்கிலித் தொடர் நின்றுபோகும். இந்த இரண்டாம்நிலே அயனியாக்கத்திற்குத் தேவையான ஆற்றலும் முதன் முதலில் ஊடுருவும் துகளின் ஆற்றலிலிருந்து தான் கிடைக்கிறது. எனவே, இந்த முறையில் கிடைக்கப்பெறும் அயனிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை ஏறத்தாழ அயனியாக்கத் திற்குக் காரணமாகிய மின்னூட்டம் பெற்ற துகளின் ஆற்றலுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும் என்று தெளிவாகிறது. ஆகவே மிகுந்த அயனியாக்கு திறனுடைய ஒரு துகள் தன் ஆற்றல் முழுவதையும், ஓர் அயனிக்கலத்தில் உள்ள வாயுப்பொருளோடு மோதி இழக்கும் படி செய்தால், அதனுல் ஏற்படும் அயனிகளின் மொத்த எண் ணிக்கை அந்தத் துகளின் ஆற்றலேக் குறிக்கக்கூடிய தொன்றுகும். அயனிக்கலம், விகித எண்ணி, கைகர் எண்ணி போன்ற துகள்கள் கண்டு பகுக்கும் கருவிகள் இந்த அடிப்படைக் கொள்கையில்தான் இயங்குகின்றன.

3.4 பருப்பொருளோடு எலக்ட்ரான்களின் செயலெதிர்ப் பண்புகள்

பிற மின்னூட்டத் துகள்களேப் போலவே எலக்ட்ரான்களும், வாயு, திரவ மற்றும் திடப் பொருள்களோடு மோதும்போது பெரும்பாலும் அயனியாக்க முறையில்தான் தன் ஆற்றலே இழக் கின்றன. ஆயினும், எலக்ட்ரான்களின் நிறை மிகவும் குறை வாகையால், மோதுகின்ற எலக்ட்ரான்கள் ஒரே நேர்கோட்டில் செல்லாமல் அலேந்து திரிகின்றன. மேலும், மோதுகின்ற துகள்கள், மோதப்படுகின்ற துகள்கள் இவை இரண்டும் ஒரே நிறையுடைய தாக இருப்பதால் (இரண்டுமே எலக்ட்ரான்கள் ஆதலால்) மோது கின்ற துகள்களின் ஆற்றல் வெகுவாகப் பகிர்ந்துகொள்ளப்படு கிறது. இருந்தபோதிலும் பொதுவாக மற்ற எல்லாத் துகள்களே விட எலக்ட்ரான்களின் வேகம் அதிகமாதலால், பருப்பொருளி னூடே அவற்றின் 'செல் தொலேவு' அதிகமாகவே உள்ளது.

பேராற்றல் வாய்ந்த (1 *Mev*-க்கும் அதிகமான) எலக்ட்ரான் கள். மற்ருெரு புதிய முறையிலும் தன் ஆற்றலே இழக்கிறது. இந்த

முறை 'ப்ரம்ஸ்ட்ராலங்' (Bremsstrahlung radiation) அல்லது உடைபடும் கதிர்வீச்சு முறை எனப்படும். இது தொடர் எக்ஸ்-கதிர்கள் வீசப்படும் முறையைப் பெரிதும் ஒத்தது. மிகமிக வேகமாகச் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருக்களின் கூலும் விசையால் ஒரு மீட்சியிலா மோதுகைக்கு உட்படுகின்றன. இதனுல் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீள வரிசையில், ஒரு தொடர் நிறமாலையைத் தோற்றுவிப்பதன் மூலமாக ஈடுசெய்விக்கப்படுகிறது. இந்தக் கதிர்வீச்சு முறைதான் தடுப்புக் கதிர் வீச்சு என்று பொருள் பெறும் 'ப்ரம்ஸ்ட்ராலங் கதிர்வீச்சு' எனப்படும். முதன்மை எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவற்றின் ஆற்றல் இழக்கப்படும் முறை பெரும்பாலும் இவ்வழியில்தான் என்று பெத்தே-ஹீட்லர் (Bethe & Heitler) இருவரும் கணக்கிட்டார்கள். இயற்கைக் கதிரியக்கத்தினுல் வீசப்படும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் 4 *Mev*க்கும் குறைவாக இருக்கிறது. எனவே, அவை ப்ரம்ஸ்ட்ராலங் கதிர்வீச்சைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. ஆயினும், துகள் முடுக்கும் பொறிகளால், பேராற்றலைப் பெற்ற எலக்ட்ரான்கள் இம்முறையில் தன் ஆற்றலை இழப்பதைக் காணலாம்.

3.5 காமாக் கதிர்களின் செயலெதிர்ப் பண்புகள்—காமாக் கதிர்கள் உட்கவரப்படும் முறை

மின்னூட்டமுடைய துகள்கள் ஒரு பருப்பொருளினூடே செல்லும்போது, படிப்படியாக அவற்றின் ஆற்றல் குறையப் பெற்று அவற்றின் செல் தொலைவின் எல்லையில் திடீரென்று நின்று விடுகின்றன. ஆனுல், காமாக் கதிர்கள் ஒரு பருப்பொருளினூடே செல்லும்போது, அந்தக் கற்றையின் ஒவ்வொரு கதிரும் தனித் தனியாகப் பருப்பொருளினுல் உட்கவரப்படுகிறது. எனவே, அவற்றின் செறிவு எக்ஸ்பொனென்ஷியல் (e-ன்மடி) வீதத்தில் குறைந்துகொண்டே போகிறது.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (3 \cdot 3)$$

I_0 ⟶ கதிர்களின் தொடக்கச் செறிவு

μ ⟶ உட்கவர் எண்

x ⟶ உட்கவர் பொருளின் தடிமம்.

குறிப்பாக, $I = \frac{1}{e} . I_0$ என்ருல்

$$e^{-1} . I_0 = I_0 e^{-\mu x}$$

எனவே $\mu = \frac{1}{x}$ (3·4)

எனவே, காமாக் கதிர்கள் ஒரு பருப்பொருளினுள், எவ்வளவு தொலைவு செல்வதற்குள் (x) அதன் செறிவு $\frac{1}{e}$ மடங்கு குறைகிறதோ அந்தத் தொலைவின் எதிர்மடி $\left(\frac{1}{x}\right)$, அந்தப் பருப்பொருளின் காமாக் கதிர்களுக்கான உட்கவர் எண் எனப்படும். இந்த வகையில் ஒரு பருப்பொருளின் உட்கவர் எண் காணுதல் மிகவும் கடினமாகையால், 'அரை ஆற்றல் தடிமம்' காணும் மற்றொருமுறை கையாளப்படுகிறது. சமன்பாடு (3·3)-ன்படி,

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu x \quad (3\cdot5)$$

காமாக் கதிர்கள், ஒரு பருப்பொருளினுள் $X_{\frac{1}{2}}$ தொலைவு செல்லும் போது, அதன் செறிவு அரை மடங்காகிறதென்று கொள்வோம்.

$$I = \frac{I_0}{2} \; ; \; x = X_{\frac{1}{2}}$$

எனவே, சமன்பாடு (3.5)-ன்படி

$$\ln 2 = \mu \cdot X_{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \mu = \frac{\ln 2}{X_{\frac{1}{2}}} = \frac{0\cdot693}{X_{\frac{1}{2}}} \quad (3\cdot6)$$

சோதனைகளின் மூலம் $X_{\frac{1}{2}}$ காணல் எளிது. ஆகவே, இம் முறைப்படி உட்கவர் எண் அறிதலும் எளிதாகும்.

காமாக் கதிர்கள் பின்வரும் மூன்று வழியில் தன் ஆற்றலை இழக்கின்றன.

1. ஒளிமின் விளைவு
2. காம்ப்டன் சிதறல் விளைவு
3. இரட்டைத் துகள்கள் ஆக்கம்,

3.5·1 ஒளிமின் உட்கவர்தல் (Photo electric Absorption)

காமாக் கதிர்கள், ஒரு பருப்பொருளினுள் ஊடுருவிச் செல்லும். அப் பருப்பொருளின் அணுக்களின் சுற்றுத்தடத்தில் வளைய வருகின்ற எலக்ட்ரான்கள் ஒரு மீட்சியிலா மோதுகைக்கு ஆளாகித் தம் தடத்திலிருந்து வெளியேற்றப்படுகின்றன (பகுதி 1·4). அந்த எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல்,

$$E_{\text{இயக்கம்}} = h\nu - W_k \qquad (3\cdot7)$$

$h\nu \rightarrow$ காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல்

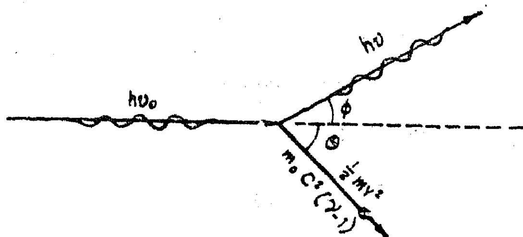
$W_k \rightarrow$ அயனியாக்க ஆற்றல்

காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலின் ஒரு பகுதி எலக்ட்ரான்களைத் தன் தடத்தைவிட்டு வெளியேற்றச் செலவழிக்கப்படுகிறது. இதையே அயனியாக்க ஆற்றல் என்கிறோம். எஞ்சிய ஆற்றல், எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது என்பதையே சமன்பாடு (3·7) குறிக்கிறது. இவ்வாறு காமாக் கதிர்கள் செயல்படும்போது, பெரும்பாலும் K-தடத்திலிருந்துதான் எலக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. எனவே, இப்பொழுது அணுவின் L, M போன்ற தடங்களிலிருந்து, K-தடத்திற்கு எலக்ட்ரான்கள் தாவி நிரப்புகின்றன. இதனால் அந்த அணுவின் K-வரி சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்கள் உடன் வீசப்படும் என்பதும் தெளிவாகிறது. காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் 0·5 *Mev*க்கு குறைவாக இருக்கும் போது, ஒளிமின் விளைவு முறையில்தான் பெரும்பாலும் அவற்றின் ஆற்றல் உட்கவரப்படுகிறது.

3.5·2 காம்ப்டன் சிதறல் (Compton Scattering)

ஒரு கட்டுறு எலக்ட்ரானின்மீது காமாக் கதிர்கள் செயல்படும் போது, ஒரு மீட்சி மோதுகை (elastic collision) ஏற்பட்டு, அந்தக் கதிர்களின் உந்தத்தில் ஒரு பகுதி எலக்ட்ரானுக்கு மாற்றப்படுகிறது. படு காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலைக் கணக்கில் கொள்ளும் போது எலக்ட்ரானின் கட்டாற்றல் மிகமிகச் சிறியதாகையால் (சுமார் 15 *ev*) அந்த எலக்ட்ரான் தொடக்கத்தில் கட்டுறுமலும் அசையா நிலையில் இருந்ததாகவும் கொள்ளலாம். ஆயினும், மோதலுக்குப்பின் எலக்ட்ரான் உந்தப்பட்டு ஒரு குறிப்பிட்ட திசைவேகத்தில் செல்லும். எனவே, காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் ($h\nu$) குறைக்கப்படுகின்றது. அதாவது அதிர்வெண் 'ν' குறைகின்றது. எனவே, மீட்சி மோதுகைக்குப்பின் அந்த காமாக் கதிர்

களின் அலை நீளம் அதிகமாகிறது (படம் 3.2). இவ்வாறு அதிகரிக்கும் அலைநீளத்தின் மதிப்பை காம்ப்டன் பின்வருமாறு கணக்கிட்டார் (பகுதி 1·6).



படம் 3.2

காம்ப்டன் விளைவு

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi) \qquad (3\cdot8)$$

λ_0 = காமாக் கதிர்களின் தொடக்க அலைநீளம்.

λ = மீட்சி மோதுகைக்குப்பின் காமாக் கதிர்களின் அலை நீளம்.

ϕ = படு காமாக் கதிர்களின் திசைக்கும் சிதறிய காமாக் கதிர்களின் திசைக்கும் இடையேயுள்ள கோணம்.

$h \rightarrow$ பிளாங்க் மாறிலி

$m_0 \rightarrow$ எலக்ட்ரானின் ஓய்வுநிலை நிறை

$c \rightarrow$ ஒளியின் வேகம்.

இவ்வாறு மீட்சி மோதுகைக்கு உட்பட்டுப் படிப்படியாக காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் குறைந்துகொண்டே போகும். 0·5 *Mev*லிருந்து 5 *Mev* வரை ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிர்கள் பெரும்பாலும் இந்த முறையில்தான் தன் ஆற்றலில் பெரும்பகுதியை இழக்கின்றன.

3.5.3 இரட்டைத் துகள்கள் ஆக்கம் (Pair production)

இந்த முறையில் ஆற்றல் இழப்பு, காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் $2\, m_0c^2$ அதாவது 1·02 *Mev* பயன் தொடக்கத்தில் (Thrshold) தொடங்குகிறது எனலாம். காமாக்கதிர், கூலும் விசை பொருந்திய அணுக்கருவின் புலத்தில் ஊடுருவும்போது, அவற்றின் ஆற்றல் எலக்ட்ரான், பாசிட்ரான் என்ற இரட்டைத் துகளைத்

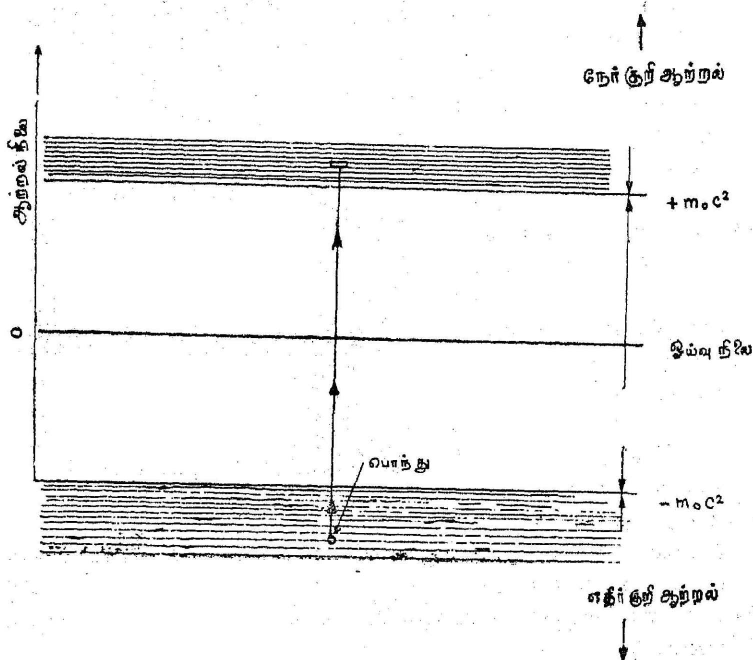
தோற்றுவிக்கும் செயலெதிர்ப் பண்பு கொண்டதாகிறது. இவ்வாறு நடைபெறவேண்டுமானுல், அந்த காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் இரு துகள்களின் ஓய்வுநிலை ஆற்றலின் ($2m_oc^2$) அளவாவது இருத்தல் வேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது. இதையே பயன் தொடக்க ஆற்றல் (Thrshold Energy) என்கிருேம். ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானியாகிய டைராக் (Dirac) என்பவர், ஃபோட்டான்கள் இவ்வாறு இரட்டைத் துகள்களைத் தோற்றுவிக்கக்கூடும் என்ற மிகவும் புதுமையான ஒரு கருத்தை வெளியிட்டார். எலக்ட்ரான்களின் சார்பியல் ஆற்றலைக் காண அவர் கண்ட புதிய மேட்ரிக்ஸ்படி எலக்ட்ரான்கள் எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலையையும் (Negative energy states) கொண்டிருக்கலாம் என்ற முடிவுக்கு வர நேரிட்டது. அன்றைய விஞ்ஞானிகளால் எளிதில் ஒப்புக்கொள்ள முடியாத அவர் கூற்று மெய்தான் என்று மிகக் குறுகிய காலத்திற்குள் ஆண்டர்சன் (Anderson) என்பவர் தன் காஸ்மிக் கதிர் ஆய்வுகளினுல் மெய்ப்பித்துக் காட்டினுர். டைராக்கின் கூற்றைப் பின் கண்டவாறு விளக்கலாம்.



டைராக்

எலக்ட்ரான்கள் எதிர்க்குறி, நேர்க்குறி இவ்விரண்டு ஆற்றல் நிலைகளிலும் பவுலியின் தவிர்த்தல் விதியின்படி (Pauli's Exclusion Principle) இடம் பெறும். ஆயினும் மிகக்குறைந்த ஆற்றல் பெற்ற நிலைகளாகிய எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகள் முழுவதும் நிரம்பிய பின்தான் நேர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகள் நிரப்பப்படுகின்றன. இந்தப் பேரண்டத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு பொருளிலும் இவ்வாறு எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகள் யாவும் முன்னமேயே முழுவதும் எலக்ட்ரான்களால் நிரப்பப்பட்டிருக்கின்றன என்று டைராக் கண்டார். எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகள் யாவுமே நிரப்பப்பட்டு விட்டதால் அவை இருப்பதைக் காணுதல் இயலாது. நம்மைச் சுற்றி இருக்கும் காற்றின் அழுத்தத்தை நாம் எப்படி உணர்வதில்லையோ, தண்ணீரின் வெகு ஆழத்தில் எப்பொழுதுமே

வாழும் ஒரு மீன் தண்ணீரற்ற ஒரு சுற்றுப்புறம் உண்டு என்பதை எவ்வாறு உணராதோ, அதேபோல எங்கெங்கினும் முன்னமேயே நிரம்பிவிட்ட எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகளையும் நாம் பொதுவாக உணருதல் இயலாது. ஆயினும், அவ்வாறு எதிர்நிலை ஆற்றல் நிலையில் உள்ள ஓர் எலக்ட்ரானுக்கு $2m_0c^2$ அளவு ஆற்றல் கொடுப்போமேயாயின் அந்த எலக்ட்ரான் ஓய்வுநிலையிலுள்ள நேர்க்குறி



படம் 3.3

டைராக்கின் எதிர்க்குறி ஆற்றல் மட்டங்கள் பற்றிய விளக்கம்

ஆற்றலுடைய எலக்ட்ரான் நிலைக்குத் தாவுகிறது. படம் 3.3 இதை விளக்கும். இதனால் எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலையில் ஒரு பொந்து ஏற்படுகிறது என்பதும் தெளிவாகும். எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான் இங்கில்லாமல் சென்றதால், இந்த பொந்து, ஒரு நேர் மின்னூட்ட முடைய எதிர்க்குறி நிறையையுடைய ஒரு புதிய துகளாக நாம் உணர்வோம். சுருக்கமாக, எலக்ட்ரானின் எதிர்த் துகள் (Anti-electron) என இதை அழைக்கலாம். பாசிட்ரான் என்று பெயரிடப்பட்ட இந்தத் துகள் தோற்றுவிக்கப்படுவதைத் தன் காஸ்மிக் கதிர் சோதனைகள் மூலம் ஆண்டர்சன் மெய்ப்பித்துக் காட்டினார் (பகுதி 13·8). எனவே, காமாக் கதிர்களின் ஆற்

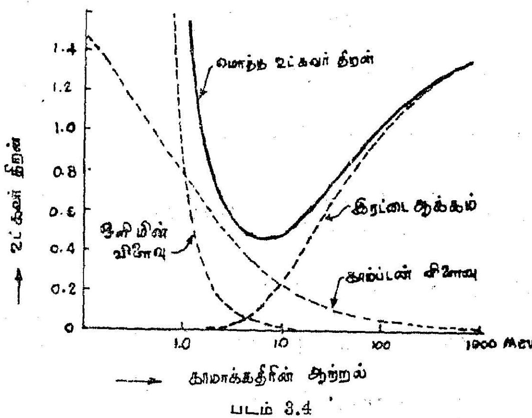
றல், பயன் தொடக்க ஆற்றலாகிய $2m_0c^2$ (1.02Mev) அளவுக்கு அதிகமாக இருந்தால், இவ்வாறு, எலக்ட்ரான்-பாசிட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கக் கூடும். காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் $h\nu$ என்றால்,

$$h\nu = 2m_0c^2 + E \qquad (3{\cdot}9)$$

$E \longrightarrow$ இரட்டைத் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்.

இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்பட்ட பாசிட்ரான்கள் மிகக் குறுகிய காலத்திலேயே, ஏதோவொரு கட்டற்ற எலக்ட்ரானுடன் கலந்து நிறையழிந்து ஆற்றலாக மீண்டும் ஆக்கம் பெறுகின்றன.

10 Mev-க்கும் அதிகமான ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிர்கள் இவ்வகையில்தான், தன் பெரும் பகுதி ஆற்றலை இழக்கின்றன. ஓர் ஈய உட்கவர் உலோகத்தில், வெவ்வேறு ஆற்றல் அளவுடைய காமாக் கதிர்கள் தன் ஆற்றலை இம் மூன்று முறைகளிலும் இழக்கும் விதத்தைப் படம் (3.4) விளக்குகிறது.



படம் 3.4

பருப்பொருள்களில் காமாக்கதிர் உட்கவர் திறன்

பயிற்சி : ஒரு காமாக் கதிர் ஒரு யுரேனிய உலோகத்தில் மோதும்போது அதன் K-தடத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்களை ஒளிமின் விளைவு முறையில் வெளியேற்றுகிறது. அந்த எலக்ட்ரானின் உந்தம் ஒரு காந்தப்புல ஆற்றல் வரைவியினால் கணக்கிட்டால் அதன் $BR = 3{\cdot}08 \times 10^{-8}$ வீபர்/மீட்டர் என்று தெரிகிறது. K-எலக்ட்ரான்களின் கட்டாற்றல் 0·116 Mev என்றால் (1) அந்த ஒளிமின் விளைவு எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் என்ன? (2) காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் என்ன?

விடை :

$$Bev = \frac{Mv^2}{R}$$

$\therefore$ $BR.e = Mv$

$BR = 3{\cdot}08 \times 10^{-3}$ வீபர்/மீட்டர்.

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ கூலும்.

$\therefore$ $Mv = 3.08 \times 10^{-3} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ கூலும் வீபர்/மீட்டர்$^{-1}$

$Mv = 4{\cdot}928 \times 10^{-22}\ AS.VS.m^{-1}$

$Mv = p = 4{\cdot}93 \times 10^{-22}\ (AV)\ S^2\ m^{-1}$

$\therefore$ $pc = 4{\cdot}93 \times 10^{-22} \times 3{\cdot}8 \times 10^8\ (AV)\ S^2 \times m^{-1}\ .\ m\ .\ Sec^{-1}$

$= 18{\cdot}73 \times 10^{-14}\ A.\ V.\ S.$

$= 18{\cdot}73 \times 10^{-14}$ J

$1\ Mev = 1{\cdot}6 \times 10^{-13}$ Joules

$$\therefore\ pc = \frac{18{\cdot}73 \times 10^{-14}}{1{\cdot}6 \times 10^{-13}} = 1{\cdot}17\ Mev$$

$\therefore$ $E^2 = (m_0 c^2)^2 + p^2 c^2$

$= (0{\cdot}511)^2 + (1{\cdot}17)^2$

$\therefore$ $E = 1{\cdot}619\ Mev$

இயக்கநிலை ஆற்றல் = இயக்க ஆற்றல் + ஓய்வுநிலை ஆற்றல்

$\therefore$ இயக்க ஆற்றல் = இயக்கநிலை ஆற்றல்—ஓய்வுநிலை ஆற்றல்

$E_{\text{இயக்கம்}} = 1{\cdot}619 - 0{\cdot}511 = 1{\cdot}108\ Mev$

ஆகவே, காமாக் கதிரின் ஆற்றல் (சமன்பாடு 3·7-ன்படி) $= 1{\cdot}108 + 0{\cdot}116$

$= 1{\cdot}224\ Mev$

வினாக்கள்

1. அணுக் கருத் துகள்கள் பருப்பொருளோடு செயல்படும் செயலெதிர்ப் பண்புகளை விளக்குக.

2. கீழ்க்கண்டவற்றை விளக்குக :

   (1) நிறுத்து திறன்.

   (2) செல்தொலைவு.

   ஒரு பருப்பொருளின் நிறுத்து திறன் காண்பதெவ்வாறு? கைகர்-நட்டால் விதியை விளக்குக.

3. பருப்பொருளோடு மின்னூட்டமுற்ற துகள்கள் செயல்படும் முறைக்கும், காமாக் கதிர்கள் செயல்படும் முறைக்கும் உள்ள வேறுபாடுகளைக் கூறுக.

4. காமாக் கதிர்கள் பருப்பொருளோடு மோதும்போது ஏற்படும் விளைவுகளை விவரிக்கவும்.

5. கீழ்க்கண்ட விளைவுகளை விவரிக்கவும் :

   (1) ப்ரம்ஸ்ட்ராலங் கதிர்வீச்சு

   (2) இரட்டைத் துகள் ஆக்கம்

   (3) காம்ப்டன் விளைவு

   (4) ஒளி-மின் முறை உட்கவர்தல்

4. துகள் உணர் கருவிகள்

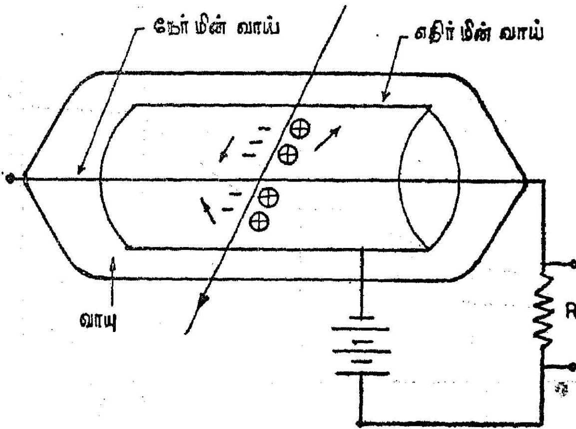
4.1 துகள் உணர் கருவிகளின் தேவையும் அவற்றின் வகைகளும்

ஓர் அணுக்கருவியல் விஞ்ஞானி, தன் ஆய்வுக்கு எத்தகைய தகவல் தேவைப்படுகிறதோ, அதற்கேற்றவாறு துகள் உணர் கருவிகளை அமைத்துக்கொள்ள முற்படுகிறார். பெரும்பாலான துகள் உணர் கருவிகள், பருப்பொருளோடு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் செயலெதிர் விளைவுகளைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப் படுகின்றன. மின்னூட்டமில்லாத நியூட்ரான், ஃபோட்டான் போன்ற துகள்களை நேரடியாகக் கண்டுணர முடியாது. எனவே, அவை விளைவிக்கும் துணை விளைவுகளைப் பயன்படுத்தி உணர் கருவிகள் அமைக்கப்படுகின்றன. மின்னூட்டமுடைய துகள்களை உணரப் பெரும்பாலும் அவை விளைவிக்கும் அயனியாக்கத்தைப் பயன்படுத்திக் கண்டுணரும் முறைதான் செயல்படுத்தப்படு கிறது. அயனிக்கலம், கைகர் எண்ணி, விகித எண்ணி (Proportional Counter) முகிற்கலம் (Cloud Chamber) போன்ற கருவி கள் இந்த வகையைச் சார்ந்தவை. மின்னூட்டமுடைய துகள், ஓர் ஒளிரும் இயல்புடைய பருப்பொருளோடு (phosphar) செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது, அந்த ஒளிர்பொருள் கிளர்ச்சி பெற்று பின்பு தன் புவிமட்டத்தை (ground state) யடையும். அப்பொழுது அது ஒளி ஃபோட்டானை வெளிப்படுத்தும். இந்த ஃபோட்டானைக் கொண்டு துகள்களின் ஆற்றலை அறியும் உணர் கருவியே, மினு மினுப்பு உணர் கருவி (Scintillation Counter) எனப்படும். காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் உணர அவை பருப்பொருளோடு செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது நிகழும் (i) அயனியாக்கம், (ii) காம்ப்டன் விளைவு, (iii) இரட்டைத் துகளாக்கம் போன்ற விளைவுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைக்கப்படும் உணர் கருவிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மிகப் பேராற்றல் வாய்ந்த காமாக் கதிர்களை உணர, மினுமினுப்பு உணர் கருவியையும் பயன் படுத்தலாம். முகிற்கலம், ஒளித்தட்டுப் பூச்சு அல்லது அணுக்கருப் பூச்சு (Photographic emulsion) முறை இவைகள் காஸ்மிக் கதிர்

களின் ஆற்றல் அறியவும், குறிப்பிட்ட சில அணுக்கரு வினைகளை நுட்பமாக ஆராயவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நியூட்ரானை உணர நேரடிமுறை பயன்தராதாகையால், நியூட்ரானால் சிதறடிக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு போன்ற இலேசான அணுக்கருக்களால் ஏற்படும் அயனியாக்கம் போன்ற துணை விளைவுகள் நியூட்ரானை உணரப் பெரிதும் உதவுகின்றன.

4.2 அயனிக்கலங்கள் (Ionisation Chambers)

செயல்படும் பொதுமுறை : அயனிக்கலம், கைகர் எண்ணி, விகித எண்ணி போன்ற உணர் கருவிகள் யாவும் அயனியாக்கம் என்ற பொது முறையைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்படுகின்றன. அயனிக் கலத்திலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் அக்கலத்தினுள் செயல்படும் மின்னழுத்தம் போன்றவைதான் இந்த வெவ்வேறு உணர் கருவிகளிலும் வேறுபடுகின்றன. அவை செயல்படும் முறையைப் படம் (4.1) விளக்குகிறது.



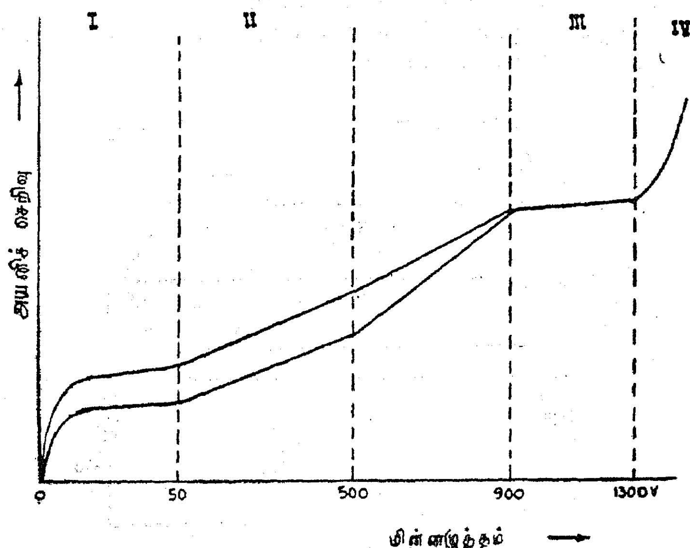
படம் 4.1

அயனிக்கலம் செயல்படும் முறை

மெல்லிய உலோக இழை ஒன்று மையத்தில் பொருத்தப்பட்ட ஓர் உலோகக்குழல் அயனிக்கலமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. கண்ணாடிக் குழாயினுள் அடைக்கப்பட்ட இந்தக் கலத்தினுள் செயலிலா வாயு (inert gas) ஒன்று தேவைப்பட்ட அழுத்தத்தில் நிரப்பப்படுகின்றது. மைய உலோக இழை, உலோகக் குழலோடு மின் கடத்தா வண்ணம் ஒரு மைக்கா காப்பானின் (Mica insulator) உதவியால் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இழை நேர்மின்வாயாகவும் உலோகக்குழல் எதிர்மின்வாயாகவும்

நில இணைப்புற்றதாகவும் செயல்படுகின்றன. இந்த இரு மின் வாய்களுக்குமிடையே தேவையான மின்னழுத்தம் செயல்படுத்தப்படுகிறது. இந்த மின்சுற்றில் ஏற்படும் மின்னோட்டத்தை, இந்தச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு சுசிவு மின் தடையின் இரு முனைகளுக்கிடையே ஏற்படும் மின்னழுத்தத்தைக்கொண்டு கணக்கிடலாம்.

இரு மின்வாய்களுக்குமிடையே உள்ள மின்னழுத்தத்தைச் சிறிது சிறிதாக அதிகரிக்கலாம். அவ்வாறு அதிகரிக்கும்போது ஏற்படும் விளைவுகளைப் படம் (4.2) விளக்குகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தம்வரை, உள்ளடக்கப்பட்ட வாயுவின் அயனியாக்கத்தால் விளையும் எலக்ட்ரான்களும், நேர்மின் அயனிகளும்,



படம் 4.2

அயனிக்கல மின்னழுத்தம்—அயனி மின்னோட்டம் இவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பும், உணர்கருவிகள் செயல்படும் இடங்களும்.

(I-அயனிக் கலச் செயலிடம்; II-விகித எண்ணிச் செயலிடம்; III-கைகர் எண்ணிச் செயலிடம்; IV-மின்பொறிச் செயலிடம்)

மின்வாய்களை வந்தடைவதால் ஒரு சீரான மின்னோட்டம் ஏற்படுவதைக் காணலாம். மிகக் குறைந்த மின்னழுத்தத்தால் ஏற்படும் அயனியாக்கத்தில் விளையும் எலக்ட்ரான்களும் நேர்மின் அயனிகளும் மிகக்குறைந்த இயக்க ஆற்றல் பெற்றவையாதலால் அவை

ஒன்றுக்கொன்று மோதும்போது மீண்டும் இணைந்து (recombination) மின் நடுநிலை பெறவும் வாய்ப்புண்டு. மேலும் இந்த மின்னழுத்தம் பெற்ற அயனிக்கலத்தை வந்தடைகின்ற துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்கத் திறனைப் பொறுத்து, அயனி மின்னோட்டம் இருக்கும். இந்தப் பகுதி அயனிக்கலச் செயலிடம் (Ionisation Chamber Region) எனப்படும்.

மின்னழுத்தத்தை மீண்டும் அதிகரித்தால், உலோக இழைக் கருகே மின்புலம் அதிகரிக்கப்படுவதால் இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கம் தோன்றுகிறது. எனவே, அயனிகள் மேலும் பெருகி அதிக மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு அதிகரிக்கும் மின்னோட்டத்தின் அளவு, அயனிக் கலத்தினுள் ஊடுருவும் துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்கத் திறனைப் பொறுத்து இருக்கும். வெவ்வேறு துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்கத்திறன் எந்த விகிதத்தில் இருக்கிறதோ அதே விகிதத்தில் இந்தச் செயலிடத்தில் செயல்படும் அயனிக்கலத்தின் மின்னோட்டமும் இருக்கும். எனவே, இந்தப் பகுதி விகித எண்ணிச் செயலிடம் (Proportional Counter Region) எனப்படுகிறது. இரு:மின்வாய்களுக்குமிடையே மேலும் மின்னழுத்தத்தை அதிகரித்தால் மிக அதிக இயக்க ஆற்றல் பெற்ற அயனிகள் மேன்மேலும் மோதிக்கொண்டு, பல இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத் தொடரை ஏற்படுத்துகின்றன. இதனால் அயனிகள் பல்லாயிரமாகப் பெருகி, ஓர் அயனி வெள்ளம் (Avalanche of Ions) ஏற்படுகின்றது. எனவே, அயனிக் கலத்தினுள் புகும் மின்னூட்டமுடைய ஒரே ஒரு துகள்கூட அயனிக்கலம் இந்த மின்னழுத்தத்தில் செயல்படும்போது ஓர் அயனி வெள்ளத்தை ஏற்படுத்தமுடியும். இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கம் மிகத்தீவிரமாகச் செயல்படுவதால் கிடைக்கப்பெறும் மின்னோட்டம் துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்குதிறனைச் சார்ந்ததாக இருக்காது என்பது தெளிவு. இந்த மின்னழுத்தத்தில் செயல்படும் அயனிக் கலத்தை 'கைகர் எண்ணி' என்பர். மின்னழுத்தத்தை மேலும் அதிகரித்தால், இரு மின்வாய்களுக்கிடையே ஒரு மின்பொறி ஏற்படும். இவ்வாறு இந்த மின்னழுத்தப் பகுதியில் செயல்படும் அயனிக்கலத்தை 'மின் பொறிக்கலம்' (Spark Chamber) எனலாம். இனி இந்தக் கலங்களின் சிறப்புப் பண்புகளைத் தனித்தனியாகக் காண்போம்.

4.3 அயனிக்கலம் (Ionisation Chamber)

துகள் உணர் முறைகளில் மிகப்பழமையான, அதே நேரத்தில் சிறந்ததொரு முறையுமாகும் இது. ஓர் அயனிக்கலம் அமைக்கும் எளிய முறையை முன்பு பார்த்தோம். உள்ளடக்கப்பட்ட வாயுவின் அழுத்தம் ஏறத்தாழ 10 செ.மீ. பாதரச அளவு

இருக்கும். ஒரு மின்னூட்டமுடைய துகள் உட்புகும்போது இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்காமலும், முதன்மை அயனியாக்கத்தை உடனே தோற்றுவிக்கக்கூடியதுமாக அயனிக்கல மின்னழுத்தம் செயல்படும்படி அமைக்கப்படுகின்றது. அயனியாக்க மின்னோட்டம், மின்சுற்றிலுள்ள மின் தடைக் கிடையே ஏற்படுத்தும் மின் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுதல்மூலம் அறியப்படுகிறது. ஓர் அயனி இரட்டையை (Ion pair) ஏற்படுத்தத் தேவையான ஆற்றல் ஏறத்தாழ 35 ev எனக் கொள்ளலாம். முதலில் மிக இலேசான குறைந்த நிறையுடைய எலக்ட்ரான்கள்தாம் அதிவிரைவாக நேர் மின்வாயை வந்தடை கின்றன. இந்த எதிர் மின் அயனிகள் நேர் மின்வாயை அடைந்த வுடன் ஒரு துடிப்பு மின்னோட்டம் (pulse) ஏற்படுகிறது. சிறிது நேரம் கழிந்த பிறகு நிறை அதிகமான நேர்மின் அயனிகள், எதிர் மின்வாயை வந்தடைகின்றன. எனவே, இப்பொழுது ஒரு சீரான மின்னூட்டம் மீண்டும் ஏற்படுகிறது. அயனிக்கலம் ஒரு மின் ஏற்பியாகச் செயல்படுவதாகக் கொண்டால், மின் சுற்றி லுள்ள மின் தடையின் மதிப்பையும் (R) கலத்தின் மின் ஏற்புத் திறனையும் (C) கருத்தில்கொண்டு RC என்ற நேர மாறிலியைத் தேவைக்கேற்ப அமைத்துக்கொள்ளமுடியும். நேர மாறிலியின் மதிப்பை அதிகரிப்பதால் மெதுவாக வந்தடையும் நேர்மின் அயனி களையும் கணக்கில் கொள்ள இயலும். காட்டாக, $C=10$PF (பைகோ ஃபாரட்), $R=10^9$ ஓம்கள் என்றால் நேர மாறிலியின் மதிப்பு $CR=10^{-2}$ செகண்டு ஆகும். ஓர் உணர்கருவி, அடுத் தடுத்து உட்புகும் இரு துகள்களைத் தெளிவாகப் பகுத்துணரத் தேவைப்படும் சிறுமநேரம் அந்தக் கருவியின் 'பகுநேரம்' (Resolving Time) எனப்படும். எனவே, நேரமாறிலி 10^{-2} செகண்டுகள் எனில் பகுநேரமும் அதே அளவுடையதாயிருக்கும். ஆகவே, இந்த நிலையில் அயனிக்கலத்தால் ஒரு செகண்டில் 10^2 துகள்களை மட்டுமே பகுத்துணர முடியும். மின்தடையின் முனை களுக்கிடையே ஏற்படும் பெரும மின்னழுத்தம், அதற்குக் காரண மாகிய அயனிகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். இது அயனிக்கலத்தின் மிகச் சிறந்த பயன்தரத்தக்க பண்புகளில் ஒன்றாகும். அதே நேரத்தில் கலம் மிகமிகக் குறைந்த வேகத்தில் செயல்படுவதால் மிகக் குறுகிய காலத்தில் அடுத்தடுத்து வரும் துகள்களை எண்ணமுடியாமல் போகிறது. இது அயனிக்கலத்தின் குறை எனலாம். நேர மாறிலியை 10^{-4} செகண்டுகள் வரையில் குறைப்பதன்மூலம் அயனிக்கலத்தின் பகுநேரத்தைக் குறைக் கலாம். ஆனால், அதே நேரத்தில் மெதுவாகச் செல்லும் நேர்மின் அயனிகள் ஏற்படுத்தும் மின்னோட்டத்தைச் சமன்படுத்த சில புதிய முறைகளைக் கையாளுதல் அவசியமாகிறது.

பயிற்சி : ஒரு பைகோ ஃபாரட் மின் ஏற்புத்திறன் கொண்ட ஓர் அயனிக்கலத்துடன் 10 மெகா ஓம் மின்தடையொன்று தொடர் அடுக்காக இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆல்ஃபாக் கதிர்க் கற்றையொன்று அயனிக்கலத்தினூடே செல்லும்போது, 0.002 மைக்ரோ ஆம்பியர் மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. ஓர் அயனி இரட்டையை ஏற்படுத்த 35 *ev* ஆற்றல் தேவையென்றால், ஆல்ஃபாக் கதிர்களின் இயக்க ஆற்றலைக் காண்க. (எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் $= 1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ கூலும்.)

மின்தடையினிடையே ஏற்படுத்தும் மின் அழுத்தம் $= iR$

$$= 0 \cdot 002 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{6}$$

$$= 20 \times 10^{-3} \text{ வோல்ட்}$$

அயனிக்கலத்தின் மின் ஏற்புத் திறன் C என்றால் இதனால் ஏற்படும் மொத்த மின்னூட்டம்,

$$Q = CV$$

$$= 1 \times 10^{-12} \times 20 \times 10^{-3}$$

$$= 20 \times 10^{-15} \text{ கூலும்}$$

ஓர் அயனி இரட்டை 'e' மின்னூட்டத்தை ஏற்படுத்தும். எனவே,

$$Ne = Q$$

$$\therefore N = \frac{Q}{e} = \frac{20 \times 10^{-15}}{1 \cdot 6 \times 10^{-19}}$$

$$= 12 \cdot 5 \times 10^{4} \text{ அயனி இரட்டைகள்}$$

ஓர் அயனி இரட்டை தோன்றத் தேவையான ஆற்றல் 35 *ev* என்றால், $12 \cdot 5 \times 10^{4}$ அயனி இரட்டை ஏற்படத் தேவையான ஆற்றல்,

$$= 12 \cdot 5 \times 10^{4} \times 35 \; ev = 4 \cdot 4 \; Mev$$

எனவே, ஆல்ஃபாத் துகளின் இயக்க ஆற்றல் 4·4 *Mev* ஆகும்.

4.4 விகித எண்ணி

இது அமைப்பில் அயனிக் கலத்தை ஒத்ததாகும். கலத்தைச் சிலிண்டர் வடிவக் குழாயாக வடிப்பதால், மின்புலமும் சிலிண்டர் வடிவமைப்புப் பெறுகிறது. எனவே, துகள்கள் எந்தத் திசையி

னின்று கலத்தினுட் புகுந்தாலும், இந்தவகை உணர் கருவியின் விகித உணர் பண்பு கெடாமலிருக்கும். மைய உலோக இழை பொதுவாகச் சுமார் 0·005 செ.மீ. தடிமம் உள்ளதாக இருத்தல் நலம். காற்று மற்றும் நீராவி போன்றவற்றைக் கலத்தினுள்ளி லிருந்து வெளியேற்றி, நைட்டிரஜன் அல்லது செயலிலா வாயு ஒன்று 500—800 செ.மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் நிரப்பப்படு கின்றது. மின்வாய்களுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்தக் கருவி, விகித எண்ணியாகச் செயல்படத்தக்கதாக அமைக்கப்படுகிறது. இந்தச் செயலிடப் பகுதியில் அயனிகள் மோதலால் மீண்டும் சேர வழியில்லை. மேலும், தோற்றுவிக்கப்படும் இரண்டாம்நிலை அயனிகளின் எண்ணிக்கை, அயனிக்கலத்தினிடையே உள்ள மின்னழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். மேலும், உட்புகும் துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்கத் திறனையும் சார்ந்திருக்கும். எனவே, குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்தில் செயல்படும் விகித எண்ணியில் ஏற்படும் மின்னோட்டம், உட்புகும் துகள்களின் முதன்மை அயனியாக்கத் திறனைப் பெரிதும் சார்ந்து இருக்கும். எனவே, இவ்வித உணர் கருவிகள், உட்புகும் துகள்கள் எவை எவை என்று பகுத்துணரும் சிறப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

4.5 கைகர்-முல்லர் எண்ணி

ஒரு கைகர்-முல்லர் எண்ணியின் அமைப்பும் விகித எண்ணியின் அமைப்பை ஒத்ததாகும். அயனிக்கலத்தினுள் ஆர்கான் (Argon), நியான் (Neon) போன்ற வாயு 10 செ.மீ. பாதரச அழுத்தத்தில் நிரப்பப்படுகின்றது. ஒரு மின்னூட்டமுடைய துகள் கலத்தினுள் புகும்போது. உள்ளிருக்கும் வாயுவுடன் மோதி அயனியாக்கத்தை விளைவிக்கிறது. இதனால், அயனியாக்க எலக்ட்ரான்கள் மைய உலோக இழையை நோக்கி விரைகின்றன. மின்னழுத்தம் மிகமிக அதிகமாகையால் இந்த எலக்ட்ரான்கள் மிக அதிக அளவு இயக்க ஆற்றல் பெற்றுவிடுகின்றன. எனவே, இவை இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத்தினால் ஏற்படும் ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும், மின்னழுத்தத்தால் இயக்க ஆற்றல் பெற்று, வாயுப் பொருளுடன் மோதி மேன்மேலும் அயனியாக்கத்தைப் பெருக்குகின்றன. எனவே, மிகக் குறைந்த (10^{-8} செகண்டுகள்) நேரத்தில் ஓர் எலக்ட்ரான் வெள்ளம் ஏற்பட்டு ஒரு மின் துடிப்பை ஏற்படுத்து கிறது. இந்தத் துடிப்பினால் மின் தடையினில் ஏற்படும் மின்னழுத் தம் 50 வோல்ட் வரை இருக்கக்கூடும் நேர் மின் அயனிகள், எதிர் மின் குழலால் முடுக்கம் பெற்று அதை வந்தடைகின்றன. அவற்றின் நிறை அதிகமாதலால் அவை அவ்வாறு வந்தடைய அதிக நேரம் (சுமார் 100 மைக்ரோ செகண்டு) ஆகிறது.

இவ்வாறு அயனியாக்கம் நடைபெறும்போது ஒரு சில ஃபோட்டான்களும் வெளிப்படுதல் இயற்கை. இந்த ஃபோட்டான்கள் வாயுப் பொருளுடன் செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு மீண்டும் அயனியாக்கத்தை ஏற்படுத்தும். இந்த அயனியாக்கம் மேலும் ஒரு புதிய இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கத் தொடரைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே, மீண்டும் ஏற்படக்கூடிய இந்தத் தொடரை நிறுத்த ஏதாவது ஒரு முறையைக் கையாளுதல் அவசியம். முதன்மையாக ஏற்படும் எலக்ட்ரான் வெள்ளம் மின்வாயை அடைந்தவுடனேயே, கைகர் குழாயினுள் உள்ள மின் அழுத்தத்தைக் குறைப்பதன் மூலம், இந்தத் தொடர் அயனியாக்கம் தோன்றுவதைத் தடுக்க இயலும், எலக்ட்ரானியலில் 'எதிர் மின்வாய் பின்பற்றி' (Cathode follower) எனக் கூறப்படும் ஒருவகைப் பெருக்கி இவ்வாறு மின்னழுத்தத்தைத் தணிக்க உதவுகிறது.

மிகப் பயன்தரும் மற்றொருமுறை, இந்த ஃபோட்டான்களை உட்கவரும் தன்மை பொருந்திய ஒரு 'தணிக்கும் வாயுவை' (Quenching gas) உணர் கருவியினுள் இடப்படுவதாகும். இதைல் ஆல்கஹால், அமைல் அசிடேட் போன்ற வேதியியற் பொருள்கள் கைகர் உணர் கருவியினுள் செயலிலா வாயுவுடன் 10% கலந்து வைக்கப்படுகின்றன. இந்தப் பொருள்களை அயனியாக்கத் தேவையான ஆற்றல் மிக மிகக் குறைவேயாகும். எனவே, ஃபோட்டான்கள், இந்த வேதியியற் பொருள்களை அயனியாக்கத் தன் ஆற்றல் முழுவதையும் செலவிடுகின்றன. இதனால் ஏற்படும் எலக்ட்ரான்கள், செயலிலா வாயுவின் நேர்மின் அயனிகளுடன் செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு, அவற்றை மின் நடுநிலையாக்குகின்றன.

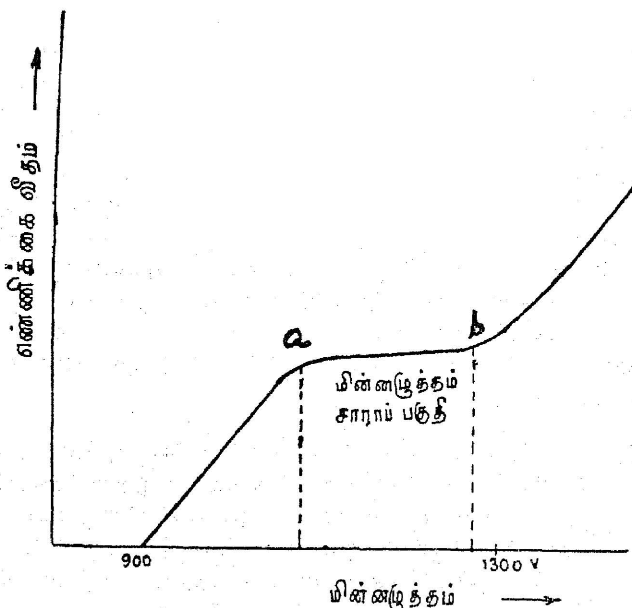
இந்த வேதியியற் பொருள்களின் நேர்மின் அயனிகள் மெதுவாக எதிர்மின்வாயை வந்தடைகின்றன. இவை பருப்பொருளோடு மோதும்போது அயனியாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்காது. மாறாக, இவை சிறுசிறு தனிமங்களாகச் சிதைவுறும். எனவே, நேர்மின் அயனிகள் எதிர்மின்வாயை அடைந்து, ஓர் அயனி மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துவது தவிர்க்கப்படுகிறது. கைகர் எண்ணி ஒவ்வொரு முறையும் செயல்படும்போதும் இந்த வேதியியற் பொருளின் 10^{10} மூலக்கூறுகள் சிதைவுறுகின்றன. எனவே, இந்த வகை கைகர் எண்ணி ஒரு குறிப்பிட்ட காலம்தான் சிறப்பாகச் செயல்படும்.

தற்காலத்தில் குளோரின், புரோமின் போன்ற வாயுக்கள் வேதியியற் பொருள்களுக்கு மாற்றாகத் தணிக்கும் வாயுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த வாயுக்களின் நேர்மின் அயனிகள்

எதிர்மின்வாயை வந்தடையும்போது அவை சிதைவுறுமல் வெப்ப சக்தி மட்டுமே வெளியேற்றப்படுகிறது. எனவே, இந்த வகை கைகர் எண்ணி மிக அதிக நாள் செயல்பட முடிகிறது. ஆயினும், இந்த வகை 'கைகர் எண்ணியின் சமவெளிச் செயலிடம்' குறைந்துபோகிறது.

4.5·1 கைகர் எண்ணியின் சமவெளி (Plateau)

ஒரு குறிப்பிட்ட கதிரியக்க மூலத்திலிருந்து வீசப்படும் கதிர்களை ஒரு கைகர் உணர் கருவியால் எண்ணப்படுகிறது என்று கொள்வோம். இப்பொழுது கைகர் எண்ணியின் மின்வாய்களுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் சிறிது சிறிதாக மாற்றப்பட்டால், உணர் கருவியில் எண்ணப்படும் கதிர்களின் எண்ணிக்கை எந்த அளவு மாறுபடுகிறது என்பதைப் படம் (4.3) விளக்குகிறது.



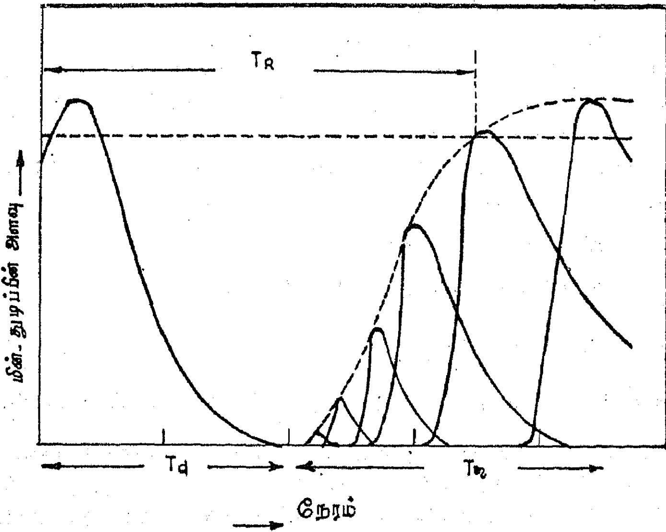
படம் 4.3

கைகர் (முல்லர்) எண்ணியின் மின்னழுத்தம்—எண்ணிக்கை வீதம் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பு

'*ab*' என்ற குறிப்பிட்ட பகுதியில், எண்ணிக்கை வீதம், மின்னழுத்தத்தைச் சாராமல், ஒரு மாறிலியாக இருக்கிறது. இந்தச் செயலிடப் பகுதியில்தான் கைகர் எண்ணி செயல்படுத்தப்பட வேண்டும். இந்தப் பகுதியைத்தான் 'கைகர் எண்ணியின் சமவெளி' எனக் கூறுவர்.

4.5·2 கைகர் எண்ணியின் பகுநேரம் (Resolving time of a Geiger Counter)

கைகர் உணர்கருவி ஓர் உட்புகும் துகளினுல் செயல்படும் போது அயனியாக்கத்திஞல் தோன்றும் நேர்மின் அயனிகள் எதிர் மின்வாயை வந்தடையும் நேரம் வரையிலோ (அல்லது) அந்த நேர் மின் அயனிகள் தணிக்கப்பட்டு நடுநிலைமையை யடையும்வரை யிலோ, மற்ருெரு துகளை உணரவியலாது என்பது தெளிவு. முதல் துகள் வந்தடைந்தபின், வெவ்வேறு நேரத்தில் வந்தடையும் துகள்களால் ஏற்படும் மின் துடிப்பைப் படம் (4.4) விளக்குகிறது.



படம் 4.4

கைகர் எண்ணியின் பகுதிறனும் பகுநேரமும்

முதல் துகளினுல் தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின் துடிப்பு, மின் னிறக்கமடைவதற்கு (Current decay) முன்பே வந்தடையும் துகள் கள், எந்தவித சலனத்தையும் கைகர் கருவியில் ஏற்படுத்தாது. 'T_d' என்று குறிப்பிடப்பட்ட இந்த நேரம் 'கைகர் எண்ணியின் செயல் படா நேரம்' (dead time) எனப்படும். அந்தக் கால அளவிற்குப் பிறகு வெவ்வேறு நேரத்தில் உட்புகும் துகள்கள் ஏற்படுத்தும் மின் துடிப்பின் அளவு நேர அளவைப் பொறுத்து அதிகரிக்கும். இந்தத் துடிப்பின் அளவு (அல்லது உயரம்) (Pulse height) மீண்டும் முதலில் உட்புகுந்த துகளினுல் ஏற்பட்ட துடிப்பின் அளவைப் பெற ஆகும் நேரம் மீட்பு நேரம் T_r எனப்படும்.

$$T_R = (T_d + T_r) \qquad (4.1)$$

T_R என்பது கைகர் எண்ணியின் பகுநேரம். இதைக் கைகர் எண்ணியின் முடங்கு நேரம் (Paralysis time) என்றும் சிலர் கூறுவர். இந்த இடைப்பட்ட நேரத்தில் உட்புகும் துகள்களை கைகர் எண்ணியால் உணருதல் இயலாது. ஆயினும், ஒரு கைகர் எண்ணியின் பகுநேரம் தெரிந்திருப்பின், இவ்வாறு இடைப்பட்ட நேரத்தில் வந்தடையும் துகள்களின் எண்ணிக்கையை அறிதல் எளிதாகும். ஒரு கதிரியக்க மூலம், ஒரு செகண்டுக்கு N துகள்களை கைகர் கருவியினுட் செலுத்துகிறதெனக் கொள்வோம். ஆயினும் கைகர் எண்ணி உணரும் துகள்கள் N_{obs} எனக் கொள்வோம்.

$(N—N_{obs})$ துகள்கள், கைகர் எண்ணி செயல்படாதொழிந்த இடை நேரத்தில் வந்தடைந்திருக்கின்றன. எனவே, அவற்றைக் கருவி உணரவில்லை. t_r என்பது கைகர் கருவியின் பகுநேரம் என்றால் கைகர் கருவி செயல்படாதிருந்த மொத்த நேரம் $N_{obs} \cdot t_r$ ஆகும். ஏனெனில், கருவி ஒவ்வொரு துகளை எண்ணும்போதும் t_r காலம் செயல்படாதிருந்திருக்கிறது. இந்த $N_{obs} \cdot t_r$ நேரத்தில் வந்தடைந்திருக்கின்ற துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கை,

$N_{obs} \cdot t_r \times N$ ஆகும்.

எனவே $(N - N_{obs}) = N_{obs} \cdot t_r \times N$

$$\therefore N = \frac{N_{obs}}{1 - N_{obs} \cdot t_r} \tag{4·2}$$

எனவே, சமன்பாடு (4·2) லிருந்து 'N' ஐக் கணக்கிடலாம்.

பயிற்சி: ஒரு கைகர் கருவியினுட்புகும் 1.75 *Mev* இயக்க ஆற்றலுடைய β கதிர் 5×10^7 அயனி இரட்டைகளைத் தோற்றுவிக்கிறதென்றால், அந்த எண்ணியின் அயனிப்பெருக்க எண் (gas multiplication factor) என்ன? (ஓர் அயனி இரட்டை ஏற்படுத்தத் தேவையான ஆற்றல் 35 *ev* எனக்கொள்க)

விடை: பீட்டாக் கதிர் ஏற்படுத்தும் மொத்த அயனி இரட்டைகள் $= \frac{1 \cdot 75 \times 10^6}{35} = 5 \cdot 0 \times 10^4$

கலத்தினுள் தோற்றுவிக்கப்பட்ட அயனி இரட்டைகளின் எண்ணிக்கை $= 5 \cdot 0 \times 10^7$

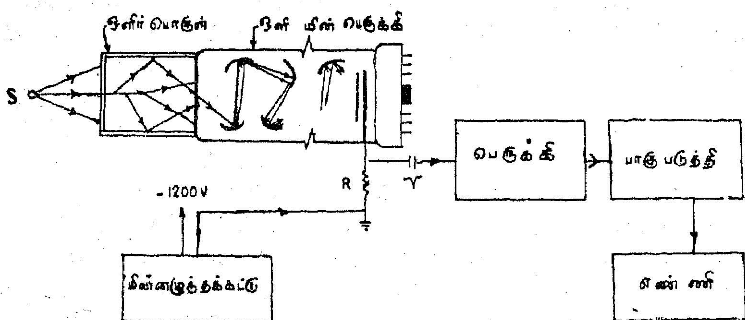
எனவே, அயனிப்பெருக்க எண் $= \frac{5 \cdot 0 \times 10^7}{5 \cdot 0 \times 10^4} = 1000$

4.6 மினுமினுப்பு எண்ணி (Scintillation Counter)

W. க்ருக்ஸ் (1903) என்பவர் சிங்க் சல்ஃபைடு பூசப்பட்ட ஒரு திரையில் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் விழும்போது ஏற்படுத்தும் மினு

மினுப்பை உணரும் வகையில் அமைக்கப்பட்ட ஸ்பின்தராஸ்கோப் (Spinthrascope) என்ற கருவியை முதன் முதலில் பயன்படுத்தினர். பிற்காலத்தில் அமைக்கப்பட்ட மினுமினுப்பு எண்ணிகளுக்கு இதுவே முன்னோடி ஆகும்.

அயனியாக்கும் வல்லமை கொண்ட துகள்கள் (மின்னூட்டமுடைய அல்லது மின்னூட்டமற்ற துகள்கள்) குறிப்பிட்ட சில ஒளிர்திறன் கொண்ட பருப்பொருளோடு செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது, அவற்றினின்று மிகக் குறுகியகால ஒளிஃபோட்டான்களை வெளிப்படுத்தும் தன்மை கொண்டவையாக இருக்கின்றன. இந்த ஃபோட்டான்கள், ஓர் ஒளி மின் பெருக்கியின் (Photo Multiplier) ஒளி எதிர்மின்வாயில் விழும்போது, ஒளி எலக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்துகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஒளி மின் பெருக்கியின் இரண்டாம்நிலை எலக்ட்ரான் தோற்றுவிக்கும் முறைப்படி பெருகி முடிவில் ஒரு கசிவு மின்தடைக்கிடையே ஒரு மின் துடிப்பை ஏற்படுத்தும். இந்த மின் துடிப்பை எலக்ட்ரானியல் பெருக்கியால் மேலும் பெருக்கி எண்ண இயலும். ஒரு மினுமினுப்பு எண்ணி செயல்படும் முறையைப் படம் (4.5) விளக்குகிறது.



படம் 4.5

மினுமினுப்பு எண்ணி செயல்படும் முறை

ஓர் ஒளிர் பொருளின் இயக்குதிறன் அதனுள் செல்லும் துகள்களைப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. ஆந்தரசின் (Anthracene) ஸ்டில்பின் (Stilbene) போன்ற அங்ககப் படிகங்கள், ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் போன்ற மின்னூட்டமுடைய துகள்களைச் சிறப்பாக உணரக்கூடிய தன்மை பெற்றிருக்கின்றன.

தாலியம், வெள்ளி போன்ற தனிமங்களால் செயலூக்கம் பெற்ற சோடியம் அயோடைட் போன்ற படிகங்கள் (Activated NaI) மிகச்சிறந்த ஒளிர் இயக்குதிறன் பெற்றிருப்பதால்

தற்காலத்தில் இவையே பெரும்பாலும் ஒளிர் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. டெர்பினைல் இடப்பட்ட பென்சீன், டாலுயின் போன்ற திரவ ஒளிர் பொருள்களும் பயன்படுத்தலாம். ஒளிர்பொருளைத் தேர்ந்தெடுக்கும்போது பின்வருவனவற்றைக் கருத்திற்கொள்ளவேண்டும்.

(i) ஒளிர்பொருள், தன்னுட்புகும் துகளின் இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் உட்கவரும் தன்மை படைத்ததாக இருக்க வேண்டும். மின்னூட்டமுடைய α, β போன்ற துகள்கள் தன் இயக்க ஆற்றல் முழுவதையும் ஒளிர்பொருளுக்குள் செலவிடு கின்றன. ஆனால், காமாக் கதிர்கள், தன் ஆற்றல் முழுவதையும் ஒளிர்பொருளுக்குள் இழக்காது. ஏனெனில், அதன் செயலெதிர்ச் செயல் அப்படிப்பட்டதாகும். அவை அயனியாக்கம், காம்ப்டன் விளைவு அல்லது இரட்டைத் துகள்கள் ஆக்கம் போன்ற முறைகளில் தன் ஆற்றலைச் செலவிடுகின்றன. நியூட்ரான்கள், ஒளிர்பொருளி னூடே செல்லும்போது நேரடி விளைவுகளை ஏற்படுத்துவதில்லை. ஆயினும் துணை விளைவுகளைக் கொண்டு நியூட்ரான் ஆற்றலையும் கணக்கிட வழியுண்டு.

(ii) ஒளிர்பொருள் வெளிப்படுத்தும் ஃபோட்டான்கள் அதிக அளவு இருத்தல் வேண்டும். துகள்களின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி ஒளிர்பொருளை அயனியாக்குவதற்கும், ஒரு பகுதி ஒளிர்பொருளைச் சிதைப்பதற்கும் செலவிடப்படுகின்றது. எஞ்சிய பகுதியே ஃபோட்டான்களை வெளிப்படுத்த உதவுகிறது. அவ்வாறு வீசுகின்ற ஃபோட்டான்களை மீண்டும் ஒளிர்பொருளே உட்கவரப்படாத நிலை மிகமிக அவசியம். எனவே, ஒளிர்பொருளின் ஒளிபுகும் தன்மை (transparency) அந்த ஃபோட்டான்களின் அலை நீளத்தைப் பொறுத்தவரையிலாவது மிக அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். மேலும், இந்த ஃபோட்டான்கள் ஒளிமின் பெருக்கியை வந்தடைய அந்த ஒளிர்பொருளின் ஒளிவிலகலெண் குறைவாக இருத்தல் நலம்.

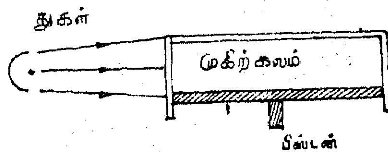
(iii) ஒளிர்பொருளின் தடிமத்தை அதிகரித்தால், அது உட்புகும் துகள்களின் ஆற்றல் முழுவதையும் உட்கவர இயலும். ஆயினும் இவ்வாறு அதிகரிக்கப்படும் தடிமம், ஃபோட்டான்களை வெளிக்கொணர இடையூறுகிவிடும். எனவே, இந்த இரண்டையும் மனத்தில் கொண்டு ஒரு பயன்தரத்தக்க தடிமத்தில் ஒளிர் பொருளை உருவாக்கிக் கொள்ளல் வேண்டும்.

(iv) ஃபோட்டான்கள், ஒளிமின் பெருக்கியைத் தவிர மற்ற இடங்களில் செல்லாமல் தடுக்க எதிரொலிப்பு முறைகளைப் பயன் படுத்துதல் நலம்.

ஃபோட்டான்களால் தாக்கப்பட்ட ஒளி எதிர்மின்வாய், ஒளி மின் எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுகின்றன. அவை முடுக்கம் பெற்று ஒளி நேர்மின்வாய்களை (Dynodes) அடைந்து, இரண்டாம் நிலை அயனியாக்க எலக்ட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் பெருகிக் கசிவு மின் தடையில் ஒரு மின் துடிப்பை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான் பெருக்கம் 10^7 அளவு கூட இருக்கலாம். இவ்வாறு, துகள்களால் ஏற்படும் ஃபோட்டான்கள் ஒளிமின்பெருக்கி வாயிலாக, ஒரு மின் துடிப்பை ஏற்படுத்தத் தேவையான நேரம் 10^{-8} செகண்டுகளே ஆகும். ஆகவே, மினுமினுப்பு எண்ணியின் பகுநேரம் 10^{-9} செகண்டுகள் தாம். எனவே, மிகவும் விரைவாக எண்ணும் கருவியாக இது செயல்படுகிறது. அட்டவணை 4·1 உணர்கருவிகளின் செயல் திறன்களை ஒப்புநோக்குகிறது.

4·7 முகிற் கலம் (Cloud Chamber)

மீத்தெவிட்டு (super saturation) நிலையிலுள்ள ஆவியினூடே செல்லும் ஓர் அயனியைக் கருவாகக் கொண்டு ஆவி, ஒரு பனித் துளியாகச் சுருங்கி அயனி செல்லும் வழியைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது என்ற உண்மையை 1897-ல் வில்சன் (C.T.R. Wilson) கண்டு பிடித்தார். இந்த உண்மையைப் பயன்படுத்தி அவர் முகிற்கலம் என்று அழைக்கப்படுகின்ற ஒரு துகள் உணர்கருவியை அமைத்தார். இந்தக் கலத்தின் செயலாக்கப் பகுதியில் (படம் 4·6a)



படம் 4·6a
ஒரு முகிற்கலம் செயல்படும் விகிதம்

தெவிட்டு நிலையில், ஆல்கஹால் அல்லது நீராவி நைட்டிரஜன் வாயுவுடன் கலந்து உட்செலுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இப்பொழுது, இந்தச் செயலாக்கப் பகுதியின் கொள்ளளவு திடீரென்று வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் அதிகரிக்கப்பட்டால், அதன் வெப்பநிலை குறையும். அந்தக் குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ளிடப்பட்ட வாயு, மீத்தெவிட்டு நிலையில் இருக்கும். தெவிட்டு நிலையில் உள்ள ஆவியின் அழுத்தம் முதலில் P_1 செ.மீ-ம், அந்த ஆவியினால் நிரப்பப்பட்ட செயலாக்கப் பகுதியின் கொள்ளளவு V_1 எனவும், வெப்பநிலை T_1 எனவும் இருக்கட்டும். m_0 கி. கிராம் நீராவி அதனுள் இருந்தால்

$$P_1 V_1 = m_0 R T_1 \qquad (4\cdot3)$$

அட்டவணை 4·1

பண்பு	அயனிக்கலம்	விகித எண்ணி	கைகர் எண்ணி	மினுமினுப்பு எண்ணி
1. உணரும்பருப் பொருள்	வாயு	வாயு	வாயு	திட, திரவ ஒளிர் பொருள்
2. அயனிப் பெருக்கம்	இல்லை	அயனிப் பெருக்கம் உட்புகும் துகளின் முதன்மை அயனியாக்கத் திறனுக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது	மிகமிக அதிகம்	மிகமிக அதிகம்
3. துகள்களைப் பகுத்து உணரும் தன்மை	வெவ்வேறு துகள்கள், வெவ்வேறு அளவு அயனியாக்க மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துவதால் துகள்களைப் பகுத்து உணர முடியும்	அயனிக் கலத்தைப் போலவே, இங்கும் துகள்களைப் பகுத்துணர முடியும்	எல்லாத்துகள்களும் ஒரே மாதிரியான (எலக்ட்ரான்) வெள்ளம் தோற்றுவிப்பதால், உட்புகும் துகள்களைப் பகுத்து உணர இயலாது	எல்லாத்துகள்களும் ஒரே மாதிரியான (ஃபோட்டான்) வெள்ளம் தோற்றுவிப்பதால் உட்புகும் துகள்களைப் பகுத்து உணர இயலாது
4. தேவையான மின் அழுத்தம்	0·50 வோல்ட்	50 முதல் 500 வரை வோல்ட்	1000 முதல் 1400 வரை வோல்ட்	ஒவ்வொரு நேர்மின்வாய்க்கும் 150 வோல்ட்
5. எண்ணியின் வேகம்	ஒரு செகண்டுக்கு 10^4 துகள்கள்	ஒரு செகண்டுக்கு 10^6 துகள்கள்	ஒரு செகண்டுக்கு 10^6 துகள்கள்	ஒரு செகண்டுக்கு 10^8 துகள்கள்

6. தணிக்கும் முறை	நேர்மின் அயனி தணிப்பு தேவையில்லை	அதிகமாகத் தேவையில்லை	வேதியியற்பொருள்கள், குளோரின் போன்ற வாயுக்கள்	—
7. வாழ்வுக் காலம்	மிக அதிகம்	அதிகம்	மிகக் குறைவு	முடிவிலாதது
8. ஆற்றல்உணரும் அளவு	குறைந்த ஆற்றல் பெற்ற துகள்களை உணர ஏற்றது	குறைந்த ஆற்றல் பெற்ற துகள்களை உணர ஏற்றது	ஓரளவு அதிக ஆற்றல் பெற்ற துகள்களை உணர ஏற்றது	மிக மிக ஆற்றல் பெற்ற துகள்களையும் உணர ஏற்றது
9. எந்தெந்தத் துகள்களை உணர ஏற்றது	α மற்றும், β துகள்கள்	α, β துகள்கள் சில சிறப்பு முறைகளால் நியூட்ரான்களையும் உணரலாம்	α, β & γ கதிர்களை உணர ஏற்றது	சிறப்பாக காமாக் கதிர்களை உணர ஏற்றது
10. எலக்ட்ரானிக்ஸ்	எளிய முறை	எளிய முறை	சிறிதே கடினம்	மிகவும் கடினமான முறையைக் கொண்டது

இப்பொழுது கலத்தின் செயலாக்கப் பகுதியின் கொள்ளளவு வெப்பம் மாற்றீடற்ற முறையில் V_1 லிருந்து V_2க்கு அதிகரிக்கப் பட்டால் அதன் வெப்பநிலை T_1 லிருந்து T_2 க்குக் குறையும். மேலும்,

$$T_1 V_1^{\gamma - 1} = T_2 V_2^{\gamma - 1} \tag{4·4}$$

$\gamma \longrightarrow$ வெப்ப எண் விகிதம்

செயலிடப் பகுதியின் வெப்பநிலை இப்பொழுது குறைந்து விட்ட படியால், தெவிட்டு நிலையில் உள்ளிடப்பட்ட ஆவி, மீத் தெவிட்டு நிலையில் இருக்கும். எனவே, அதனூடே செல்லும் எந்த ஓர் அயனிமீதும் பனித்துளி ஒன்று அயனியைக் கருவாகக் கொண்டு படரும். இவ்வாறு ஆவியின் ஒரு பகுதி பனித்துளியாக (திரவமாக) மாறுவதால் செயலாக்கப் பகுதியின் அழுத்தம் P_2-ஆகக் குறைவாக இருக்கட்டும். இப்பொழுது ஆவியின் நிறை, தெவிட்டு நிலையில் m-கிலோ கிராம் இருக்கின்றது என்றால்,

$$P_2 V_2 = m R T_2 \tag{4·5}$$

முகிற்கலத்தின் 'கொள்ளளவு அதிகரிப்பு விகிதம்' (Expansion ratio) சமன்பாடு 4·4-ன்படி

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma - 1} = \frac{T_1}{T_2} \tag{4·6}$$

∴ குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் உள்ள ஆவியின் அடர்த்திக்கும், அதே வெப்ப நிலையிலுள்ள தெவிட்டுநிலை ஆவியின் அடர்த்திக்கும் உள்ள வீதம் 'மீத்தெவிட்டுநிலை வீதம்' (S) (Supersaturation ratio) எனப்படும். எனவே,

$$S = \frac{m_o}{m} = \frac{V_1}{V_2} \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \tag{4·7}$$

மேலும், சமன்பாடு (4·6)-ன்படி

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma - 1}$$

$$\therefore S = \frac{P_1}{P_2} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \right\}^{\gamma} \tag{4·8}$$

மிகச் சிறந்த பயன் தர, இந்த மீத்தெவிட்டு வீதம் பின் வருமாறு இருத்தல் நலம் என்று கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

$$\ln S = k \cdot \left(\frac{\theta}{T}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{M}{P} \qquad (4\cdot9)$$

θ — ஆவியின் திரவப் பரப்பு இழுவிசை

T — வெப்பநிலை

M — ஆவிப் பொருளின் மூலக்கூறு எடை

P — ஆவிப் பொருளின் திரவ அடர்த்தி எண்

k — மாறிலி



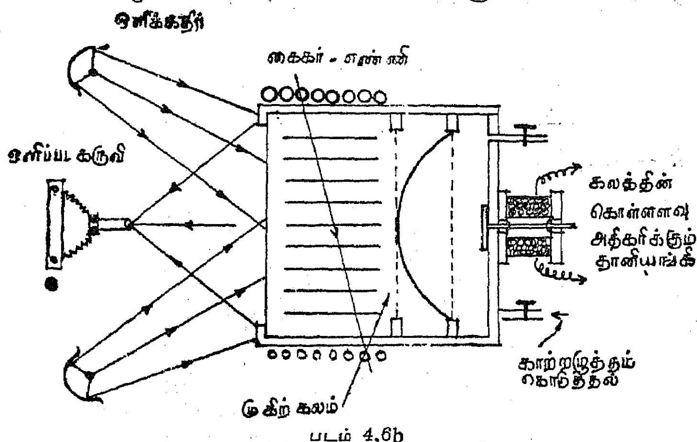
லார்டு பிளாக்கெட்

பிளாக்கட் (Lord Blackett) என்னும் ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானி இந்த முகிற்கலத்தில் மேலும் பல மாறுதல்கள் செய்து, காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆய்வுக்குப் பயன்படுத்தினர்.

அவர் பயன்படுத்திய முகிற்கலத்தின் மாதிரிப் படமொன்றைக் (படம் 4.6b) காணலாம்.

முகிற்கலத்தின் இருபுறத்திலும் துகள்கள் வருவதை உணர்ந்து செயல்படத்தக்க கைகர்-முல்லர் எண்ணிகள் தொடராக வைக்கப் பட்டுள்ளன. துகள்கள் கைகர்-முல்லர் எண்ணியினுள் விழுந்த வுடன், கைகர் கருவி செயல்பட்டு முகிற்கலத்தை இயக்குகிறது. உடனே, முகிற்கலத்தின் செயலாக்கப்பகுதி வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைந்து, அதனுள் அடைக்கப்பட்ட ஆவியை

மீத்தெவிட்டு நிலையிலாக்குகிறது. இப்பொழுது முகிற்கலத்தினுள் செல்லும் துகளின் மீது பனித்துளி படரும். தானாகவே இயங்கும் முப்பரிமாண ஒளிப்படக் (3-D) காமிராக்களும் உடனே செயல்படு



படம் 4.6b

பிளாக்கட் (Blackett) பயன்படுத்திய காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சிக்கான முகிற்கலம்

கின்றன. இந்தத் துகள்கள் மிக விரைவில் முகிற்கலத்தைக் கடந்துவிடுகின்றன. ஆயினும் அவை ஏற்படுத்தும் அணுக்கரு வினைகளை ஆராய வேண்டுமானால், முகிற்கலத்தினுள் காரீயம் மற்றும் அலுமினியத் தட்டுகள் பொருத்தப்பட வேண்டும். இவற்றினூடே செல்லும் துகளின் இயக்க ஆற்றல் குறையும். துகளின் இயக்க ஆற்றல் மற்றும் மின்னூட்டம் இவற்றை அறிய, செயலாக்கப் பகுதியில் ஒரு காந்தப் புலத்தைச் செயல்படுத்தப் படுவதும் உண்டு.

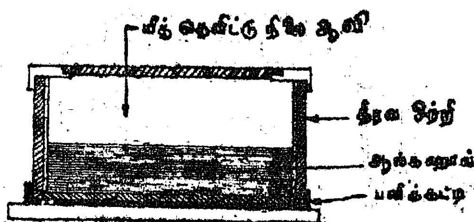
முகிற்கலத்தின் மிகப்பெரிய குறைபாடு, அடுத்தடுத்து வரும் துகள்களைக் கண்டுணர முடியாததேயாகும். ஒரு துகள் அதைக் கடந்த பிறகு, மீண்டும் செயலிடப் பகுதியிலுள்ள ஆவியை மீத்தெவிட்டு நிலைக்குக் கொணரச் சிறிது இடைக்காலம் தேவைப் படுகிறது.

எனவே, இந்தக் குறைபாட்டைக் களைய புதிய முறைகளை அறிஞர்கள் கண்டார்கள்.

4.8 விரவல் முகிற்கலம் (Diffusion Cloud Chamber)

இந்த வகை முகிற்கலத்தில் மேற்கண்ட குறை நீக்கப்படுகிறது. இது செயல்படும் முறையைப் படம் 4.7 விளக்குகிறது.

உலர்ந்த பனிக்கட்டியை அடிப்பாகத்தில் கொண்ட கலத்தின் மேல் ஆல்கஹால் திரவம் ஓரளவுக்கு நிரப்பப்படுகிறது. இந்த ஆல்கஹால் திரவம் ஒற்றிகளின் மூலமாகக் கலத்தின் மேல் பாகத்



படம் 4.7
விரவல் முகிற்கலம்

திற்குக் கொண்டு செல்லப்பட்டு ஆவியாக்கப்படுகிறது. எனவே, கலத்தினுள் கீழ்ப்பாகத்தில் வெப்பநிலை குறைவாகவும், மேற்பாகத்தில் வெப்பநிலை அதிகமாகவும் உள்ளது. அதாவது, ஒரு வெப்பநிலை வாட்டம் (temperature gradient) செயல்படுத்தப்படுகிறது. எனவே, கலத்தின் அடிப்பாகத்திலுள்ள ஆவி மீத்தெவிட்டு நிலையிலும், மேற்பாகத்திலுள்ள ஆவி தெவிட்டு நிலையிலும் எப்போதும் இருக்கும். தேவைப்பட்டபோது, கலத்தின் மேற்புறத்திற்கும் அடிப்புறத்திற்குமிடையே ஏறத்தாழ 100 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தைச் செயல்படுத்தினால், அவ்வப்பொழுது துகள்களினால் ஏற்படும் சுவடுகளைக் கண்டுணர்ந்த பிறகு துகள்களை வெளியேற்றமுடியும்.

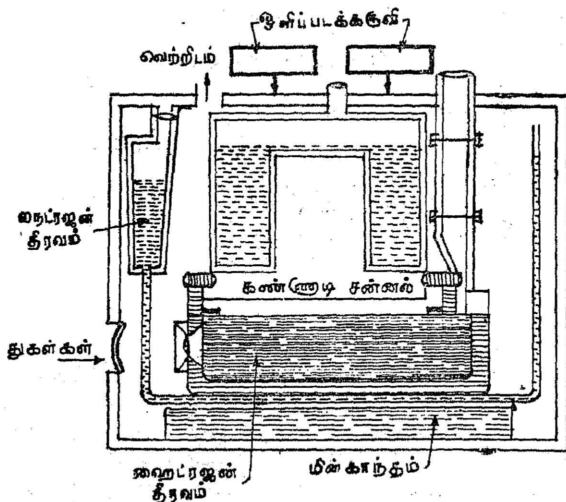
4.9 குமிழ்க்கலம் (The Bubble Chamber)

மேலே குறிப்பிட்ட கலங்களில் வாயுப் பொருளின் அடர்த்தி மிகக் குறைவாகையால் மிக அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்கள் எந்தவித அணுக்கரு வினையையும் கலத்தினுள் செயல் புரியாது. எனவே D.H. கிளாசர் (D. H. Glaser) என்பவர், குமிழ்க்கலம் என்ற ஓர் உணர் கருவியைக்கண்டார். L. ஆல்வாரிஸ் (Luis Alvarez) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி அதில் சில பயன்தரத்தக்க மாறுதல்களைச் செய்தார்.



லூயிஸ் ஆல்வாரிஸ்

படம் 4.8 ஒரு குமிழ்க்கலம் செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது.



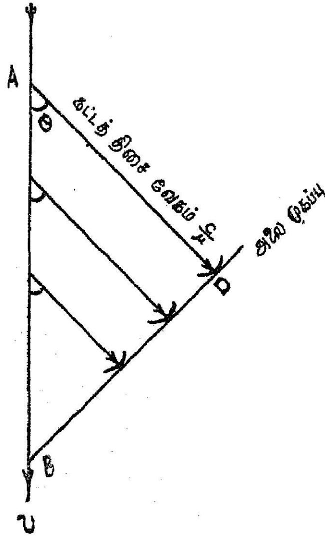
படம் 4.8
குமிழ்க் கலம்

ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலை, அதனைச் சூழ்ந்துள்ள காற்றின் அழுத்தத்தைப் பொறுத்துள்ளது. சுற்றுப்புற அழுத்தம் குறைந்தால் அதன் கொதிநிலையும் குறையும். ஒரு திரவம் சிறிது சிறிதாகச் சூடாக்கப்படும்பொழுது, குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் அதன் கொதி நிலையை அடைகிறது. இப்பொழுது, சூழ்ந்துள்ள அழுத்தத்தைத் திடீரென்று குறைத்தால் அதன் கொதிநிலை குறைந்துவிட்ட போதிலும் அது வாயுவாக மாற்றமடையாமல் மீச்சூடேற்றிய திரவமாகவே (superheated liquid) இருக்க முடியும். இந்த நிலையில் ஒரு மின்னூட்டமுடைய துகள் அத் திரவத்தினூடே சென்றால், அந்தத் துகளைக் கருவாகக்கொண்டு ஒரு குமிழ் உருவாகும். அந்தக் குமிழின் சுவடு கட்புலனாகும். எனவே, துகள் செல்லும் சுவட்டைக் கண்டுணர முடியும்.

துகள்களை நிறுத்தும் திறன் ஹைட்ரஜனுக்கு மிக அதிகமாதலால், ஒரு திரவமாக்கப்பட்ட ஹைட்ரஜனே, குமிழ்க் கலத்தில் நிரப்பப்படுகிறது. ஹைட்ரஜனின் கொதிநிலை 20°K ஆதலால், வெப்பக் கடத்தலைத் தடுப்பது மிகக் கடினமாகிறது. வெப்பக் கடத்தலைத் தடுக்க, வெவ்வேறு கொதிநிலையுடைய திரவங்கள் படிப்படியாகத் தடுப்பரண்களாகக் கலத்தைச் சுற்றி வைக்கப்படுகின்றன. காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றல் மற்றும் விளைவுகளை ஆராய, இந்தக் கலம் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

4.10 செரென்காவ் எண்ணி (Cerenkov Counters)

1934ஆம் ஆண்டு செரென்காவ் என்ற ருஷ்யநாட்டு விஞ்ஞானி ஒரு புதிய உண்மையைக் கண்டுபிடித்தார். மின்னூட்டமுடைய ஒரு துகள், ஒரு பருப்பொருளினூடே அந்த ஊடகத்தில் ஒளியின் கட்டத் திசைவேகத்தை (Phase velocity) விட அதிகத் திசை வேகத்தில் ஊடுருவும்போது கட்புலனாகும் ஒளிக்கதிர் ஒன்று வீசப்படுகிறது. இந்த ஒளிக்கதிர் ஒரு தொடர் நிறமாலையாகும். படம் 4.9 இதை விளக்குகிறது.



படம் 4.9
செரென்காவ் (Cerenkov) விளைவு

துகளின் திசைவேகம் 'v' எனவும், ஊடகத்தின் ஒளி விலகலெண் μ எனவும், ஊடகத்தில் ஒளியின் கட்டத் திசைவேகம் $\frac{c}{\mu}$ எனவும் இருக்கட்டும்.

$v > \frac{c}{\mu}$ என்றிருந்தால், ஒளி ஃபோட்டான்கள் ஒரு நிறமாலையாக வீசப்படுகின்றன.

படம் (4·8)ன் படி

$$\cos\theta = \frac{AD}{AB} = \frac{c/\mu}{v}$$

$$\therefore \cos\theta = \frac{1}{\mu \cdot \frac{v}{c}} = \frac{1}{\mu\beta} \qquad (4 \cdot 10)$$

$$\left[\beta = \frac{v}{c}\right]$$

கொடுக்கப்பட்ட ஊடகத்தில் (μ = மாறிலி) துகள்களின் பெரும திசைவேகம் $v = c$ ஆகும். எனவே θ-வின் பெரும மதிப்பு

$$\theta_{\text{பெருமம்}} = \cos^{-1}\left(\frac{1}{\mu}\right) \qquad (4 \cdot 11)$$

θ-வின் சிறும மதிப்பு சுழியாகும் $\cos\theta = 1$

$$\therefore \frac{1}{\beta\mu} = 1$$

$$\therefore \beta = \frac{1}{\mu}$$

$$\therefore v_c = \frac{c}{\mu} \qquad (4 \cdot 12)$$

எனவே, துகள்களின் பயன் தொடக்கத் திசைவேகம் $v_c = \frac{c}{\mu}$ ஆகும். இந்தத் திசைவேகத்தைவிடக் குறைந்த திசைவேகம் உடைய துகள்கள் செரன்காவ் கதிர்களைத் தோற்றுவிக்காது. $\left(\frac{c}{\mu}\right)$ ஐவிட அதிகத் திசைவேகமுடைய துகள்கள் குறிப்பிட்ட ஒரு திண்மக் கோளத்தில் $\left(\theta = 0\text{-விருந்து};\ \theta = \cos^{-1}\frac{1}{\mu}\ \text{வரை}\right)$ செரன்காவ் நிறமாலையைத் தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே, செரன் காவ் எண்ணி, ஒரு திசைவேகத் தேர்வுக் கருவியாகவும், திசைத் தேர்வுக் கருவியாகவும், மின்னூட்டத் தேர்வுக் கருவியாகவும் பயன்படுகின்றது. இந்த எண்ணியின் அமைப்பு ஒரு மினுமினுப்பு எண்ணியின் அமைப்பு முறையைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது.

4.11 அணுக்கருப் பூச்சு (Nuclear Emulsion)

வெள்ளி புரோமைடு பூசப்பட்ட ஒளிப்படத் தட்டினூடே மின்னூட்டமுடைய துகள் செல்லும்போது அந்தப் பூச்சு வினையாக் கத்தால், வெள்ளியாக மாற்றமடைகிறது. இந்த விளைவால் துகளையறியும் முறை மேன்மேலும் நுட்பமான மாறுதல்கள் மூலம் சீர்படுத்தப்பெற்று தற்காலத்தில் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. 2000 மைக்ரான் தடிமம் உள்ள அணுக்கருப் பூச்சுகள் தற்காலத்

தில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதனால் அவற்றின் நிறுத்துதிறன் அதிகரிக்கப்படுவதால் சில அணு வினையாக்கங்கள் பூச்சினூடே ஏற்பட வழியுண்டாகிறது.

ஒரு துகளின் இயக்க ஆற்றலுக்கும் (E) அந்தத் துகள், பூச்சினுள் செல்லும் செல்தொலைவுக்கும் (R) உள்ள தொடர்பை

$$E = k \cdot R^n \qquad (4.13)$$

எனக் குறிப்பிடலாம்.

n, k — மாறிலிகள்.

ஒரு மின்னூட்டத் துகள் ஒரு பூச்சினூடே சென்று வினை யாக்கிய கூறுகள் N என்றால்

$$N = M \cdot f\left(\frac{R}{M}\right) \qquad (4.14)$$

M — துகளின் நிறை

R — துகளின் செல் தொலைவு

$f\left(\frac{R}{M}\right)$ — செல்தொலைவு, நிறை இவற்றைச் சார்ந்தது.

குறிப்பிட்ட திசைவேகத்துடன் செல்லும் ஒரு துகளின் செல் தொலைவு அதன் நிறையையும் அதன் செல்தொலைவுக்குள் அடங்கிய கூறுகளையும் பொறுத்து இருக்கும். எனவே $f\left(\frac{R}{M}\right)$ ஒரே அளவுள்ள செயலிடத்தில் இரு துகள்களினால் வினையாக்கமுற்ற கூறுகளின் விகிதம் சமன்பாடு (4·14)ன்படி

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{M_1}{M_2} \qquad (4.15)$$

எனவே, முன்கூட்டியே அறியப்பட்ட ஒரு துகளினால் ஏற்படும் வினையாக்கமுற்ற கூறுகளின் அளவை அறிவதன் வாயிலாகப் புதிய தொரு துகளின் நிறையைச் சமன்பாடு (4.15)-ன்படி காண இயலும்.

முகிற்கலமும், அணுக்கருப் பூச்சு முறையும், நிலைப்பாடான சுவடுகளைத் தரும் உணர் கருவிகளாகும். அணுக்கருப் பூச்சு முறையின் சிறப்புகளைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம். (i) அதிக ஆற்றல் பெற்ற அணுக்கரு வினைகளைப் படித்தல் எளிதாகும்.

ஏனெனில், பூச்சின் நிறுத்துதிறன் மிக அதிகமாகும். (ii) பூச்சு ஒளித்தட்டு தொடர்ந்து பணியாற்றும். எனவே, செயல்படா தொழிந்த இடைப்பட்ட நேரம் எதுவும் கிடையாது. (iii) பூச்சுத் தட்டுகளைக் காற்றடைத்த பலூன்களில் எந்த உயரத்திற்கும் எடுத்துச் செல்ல முடியும். அவை பருமனற்றவை. அணுக் கருப் பூச்சின் மிகப் பெரிய குறை, அவற்றினூடே ஒரு காந்தப் புலனை ஏற்படுத்தி, துகள்களின் மின்னூட்டத்தை அறிய இயலாமையே யாகும். பூச்சினுள் கூலும் சிதறடிப்புமூலம் ஏற்படும் விளைவுகளைக் கொண்டு மின்னூட்டத்தை அறியும் முறையும் தற்காலத்தில் கையாளப்படுகிறது.

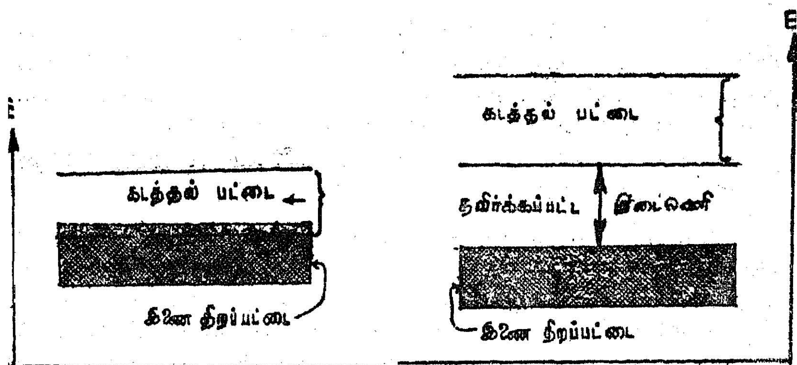
4.12 படிக உணர் கருவிகள் (அல்லது) திடநிலை உணர் கருவிகள் (Solid State Counters)

வெள்ளிக் குளோரைடு, வைரம் போன்ற படிகங்களைத் துகள் உணர்விகளாகப் பயன்படுத்த இயலும் என்பதை 1945ஆம் ஆண்டு வான் ஹீர்டின் என்பவர் கண்டறிந்தார். அவை செயல்படும் முறையைத் திடப்பொருள்களின் 'ஆற்றல் பட்டை' கொள்கை (Band Theory of Solids) வழி விளக்குதல் எளிது. ஓர் அணுக் கருவை மையமாகக்கொண்ட எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் குறிப் பிட்ட ஆற்றல் மட்டங்களைக் கொண்டதாக இருக்கும். ஆயினும் ஒரு படிகத்தில், அடுக்கடுக்காகப் பல அணுக்கருக்கள் நெருங்கி அமைந்துள்ளதால் அவற்றைச் சூழ்ந்துள்ள எலக்ட்ரான்கள் அவற்றின் தாய் அணுக் கருவினால் மட்டுமின்றி மற்ற அணுக் கருக்களின் ஈர்ப்பு விசையினாலும் பாதிக்கப்படுகின்றன. எனவே, அவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்கள் சிறிதே மாறுபடும். இவ்வாறாகப் பல எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒரு பட்டை ஆற்றல் மட்டமாக அமைகின்றது. அணுக் கருக்களின் மைய விசையை மீறி வெளிப்போகாத எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் பட்டை அந்தத் திடப்பொருளின் இணைதிறப் பட்டை (Valence Band) எனக் கூறுவர்.

ஓர் அணுக்கருவின் தொலைவில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்கள் மற்ற அணுக் கருக்களின் ஈர்ப்பு விசைக்கு ஆளாகித் தன் தாய் அணுக் கருவிலிருந்து மிகச் சுலபமாக விடுபட்டு உலவும் நிலையை அடைகின்றன. அவ்வாறு மைய விசையினின்று விடுபட்டுலவும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் பட்டை, 'கடத்தல் பட்டை' (Conduction Band) எனப் பெயர் பெறும். 'கடத்தல் பட்டையைச் சார்ந்த எலக்ட்ரான்கள் படிகத்தினுள் சுலபமாக உலவ முடியு மென்றாலும் படிகத்திலிருந்து எளிதாக வெளியேற முடியாது. அவை படிகத்தின் வெளிப்பரப்பினின்று வெளியேறத் தேவையான ஆற்றல், புற ஆற்றலாகக் கிடைக்க வேண்டும்.

மின் நற்கடத்திகளின் இணைதிறப்பட்டையும், கடத்தல் பட்டையும் ஒன்றுடொன்று மேற்பொருந்தும் நிலையில் உள்ளன. எனவே, ஒரு மின் நற்கடத்தியைச் சார்ந்த எலக்ட்ரான்கள் இந்தக் 'கடத்தல் பட்டையின் தாழ்ந்த ஆற்றல் மட்டங்களை நிரப்பு கின்றன.' கடத்தல் படையின் மேல் ஆற்றல் மட்டங்கள் நிரப்பப் படாமலிருக்கின்றன. இந்தக் கடத்தியினூடே மின்புலம் செயல் படுத்தப்படும்போது, எலக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்படாமலிருக்கும் மேல் ஆற்றல் மட்டங்களில் சுலபமாக ஊர்ந்து, ஒரு மின்னோட் டத்தை ஏற்படுத்த இயலும் (படம் 4.10a).

மின் கடத்தாப் பொருள்களில், 'கடத்தல் பட்டை' நிரப்பப் படாமலேயே இருக்கின்றன. மேலும் இணைதிறப் பட்டைக்கும், கடத்தல் பட்டைக்குமிடையே ஒரு நீண்ட இடைவெளி இருக்கிறது (படம் 4.10b). இது 'தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி' (forbidden energy gap) எனப்படும். கடத்தல் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மட்டுமே மின் கடத்தும். மின் கடத்தாப் பொருள்



படம் 4.10a

திடப்பொருளின் ஆற்றல் பட்டை கொள்கைப்படி ஒரு மின் நற்கடத்தி செயல்படும் முறை.

படம் 4.10b

திடப்பொருளின் ஆற்றல் பட்டை கொள்கைப்படி ஒரு மின் கடத்தாப் பொருளின் ஆற்றல் பட்டைகள் அமையும் முறை.

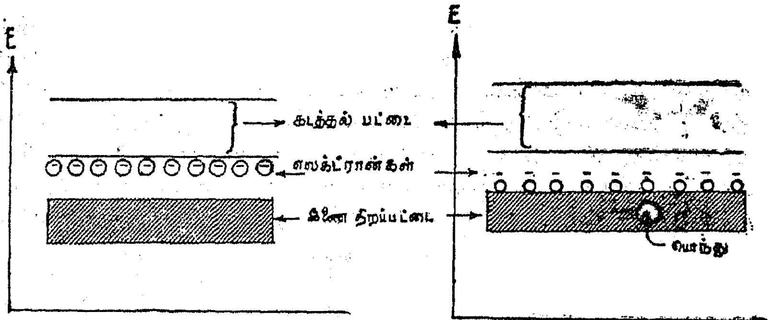
களில் ஓர் எலக்ட்ரான், கடத்தல் பட்டைக்குத் தாவ மிகமிக அதிகமான புற ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. எனவே, அவை அரிதில் கடத்தியாக அமைகின்றன. ஆயினும், லிதியம், ஃப்ளோ ரைடு, காலியம், புரோமைடு, மற்றும் குறிப்பிட்ட சில வைர வகைப் பொருள்களில் இந்தத் 'தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல் இடை வெளி' மிகமிகக் குறைவாக உள்ளதால் ஓர் எலக்ட்ரான் இணை திறப்பட்டையினின்று கடத்தல் பட்டைக்குத் தாவத் தேவையான

புற ஆற்றல் மிகச் சிறிய அளவே இருந்தாலும் போதுமானதாக இருக்கிறது. ஒரு மின்னூட்ட முடைய துகள் இந்தவகைப் பொருள்களினூடே செல்லும்போது, தேவையான இந்தப் புற ஆற்றலைக் கொடுக்க இயலும். இப்பொழுது, ஒரு மின்புலம் ஏற்படுத்தி, இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்பட்டால் அணிக் கோவையினின்று (Lattice) விடுபட்ட இந்த எலக்ட்ரான்கள் மின் துளைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த மின் துளைகளில் வேறோர் ஊர்ந்து செல்லும் எலக்ட்ரான் அடைபடுவதும் உண்டு. எனவே, மின்புலத்தினால் ஈர்க்கப்பட்டு ஊர்ந்து செல்லும் எல்லா எலக்ட்ரான்களும், மின் கடத்தலுக்கு உதவ மாட்டா. ஆகவே இவ்வகை எலக்ட்ரான்களுக்கு ஒரு சராசரி மோதலிடைத் தொலைவு (mean free path) உண்டு. வெப்பநிலை குறைக்கப்பட்டால், இந்த மோதலிடைத் தொலைவையும் அதிகரிக் கலாம் என்பது தெளிவு. ஆகவே, இந்தவகை திடப்பொருள்கள் உணர்விகளாகச் சிறப்பாக இயங்க 100°K-க்கும் குறைவான வெப்ப நிலையில் வைக்கப்படுகின்றன.

இந்தவகை திடப்பொருள் உணர்விகளில் ஒரு குறை யுள்ளது. திடப்பொருளின் வெப்பநிலை குறைக்கப்பட்டால் இணைதிறப்பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களில் வெப்பநிலை ஆற் றலும் குறைந்துவிடும். எனவே, ஊடுருவும் துகள்களின் ஆற்றல் இந்த எலக்ட்ரான்களைக் கடத்தல் பட்டைக்கு மாற்றப் போது மானதாக இருக்காது.

அணிக்கோவையின் தூய்மையைப் புறச் செயலால் குறைக்கப் பட்ட குறைகடத்திகள் (extriosic semi conductors) கண்டு பிடிக்கப்பட்டபிறகு, திடப்பொருள்களைக் கொண்டு உணர் கருவிகள் அமைக்கும் முறை வியத்தகு விதத்தில் சீரமைக்கப் பட்டது. இவ்வகைப்பட்ட குறைகடத்திகளைப் பின்வருமாறு எளிய முறையில் விளக்கலாம். வேதியியல் கூடுகைக்கு நான்கு எலக்ட்ரான்களைத் தரவல்ல சிலிகான் போன்ற ஒரு தனிமத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒவ்வொரு சிலிகான் அணுவும், தன்னருகி லுள்ள மற்ற சிலிகான் அணுக்களுடன் இந்த நான்கு எலக்ட்ரான் களையும் பகிர்ந்து கொள்கிறது. எனவே, இந்த அணிக்கோவையி லுள்ள 'இணைதிறப் பட்டை' முழுவதும் நிரம்பியிருக்கின்றது. இப்பொழுது, வேதியியல் சேர்க்கைக்கு ஐந்து எலக்ட்ரான்களைத் தரவல்ல ஆர்சனிக், பாஸ்பரஸ், ஆன்டிமனி போன்ற தனி மங்களிலொன்றை இந்த சிலிகான் அணிக்கோவையில் 'ஊடிடுதல்' (doping) செய்தால் இந்த அணிக்கோவை சற்றே மாசுபடுகிறது. அதாவது இந்த ஐந்தாவது எலக்ட்ரான் அணிக் கோவையில் சாராது தனித்து விடப்படுகிறது. இந்த வகைத் தனி

மங்களைத் தேவைக் கேற்ப சிலிகானில் ஊடிடுதல் மூலம் கட்டுறு எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கட்டுப்படுத்த இயலும். இந்த எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டம் 'கடத்தல் பட்டையின்' ஆற்றல் நிலைக்குச் சற்றே தாழ்ந்து உள்ளது (படம் 4.11a). எனவே, இந்த எலக்ட்ரான்களை, கடத்தல் பட்டைக்குத் தாவச் செய்ய மிகக் குறைவான ஆற்றலே தேவைப்படும். இவ்வகை குறைகடத்திகள், '*N* வகை குறைகடத்திகள்' (*N*-type semi conductor) எனப்படும். இதுபோலவே, சிலிகான் அணிக் கோவையில் போரான், அலுமினியம் போன்ற வேதியியல் சேர்க்கைக்கு மூன்று எலக்ட்ரான்களைத் தரவல்ல தனிமங்களி லொன்றை ஊடிட்டால், இந்த அணிக்கோவையில் ஒரு 'மின் துளை' (hole) ஏற்படும். எனவே, இந்த அணிக்கோவையும் மாசுற்ற ஒன்றாகும். இந்த மின் துளைகளும் இயங்குதிறன் பெற்றவையாக இருக்கும். இவற்றின் ஆற்றல் மட்டம் 'இணை திறப்பட்டை'க்குச் சற்றே அதிக நிலையில் உள்ளது. 'இணை திறப்பட்டையினுள் எலக்ட்ரான்கள் இந்த மின் துளைக்குத் தாவ இயலும். எனவே, இரு ஆற்றல் பட்டைக்குமிடையே உள்ள தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி குறைந்துவிடுகிறது (படம் 4.11b). இந்த வகையைச் சார்ந்த குறைகடத்திகள் *p*-வகை குறை கடத்திகள் (*p*-type semi conductors) எனப்படும்.

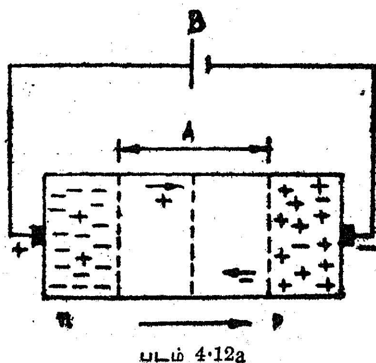


படம் 4.11a
n-வகை குறைகடத்தி செயல்படும் முறை.

படம் 4.11b
p-வகை குறைகடத்தி செயல்படும் முறை.

n-வகை குறைகடத்தி ஒன்றையும், *p*-வகை கடத்தி ஒன்றை யும் விரவல் முறையில் ஒருங்கிணைத்து, ஒரு விரவலாக்கிய சந்திப்பு (diffused junction) ஏற்படுத்தலாம். இந்தச் சந்திப்பின் இரு பகுதியில், ஒரு பகுதியில் எலக்ட்ரான்கள் எஞ்சியும், மற்றப் பகுதியில் மின் துளை எஞ்சியும் இருப்பதால், எலக்ட்ரான்கள்

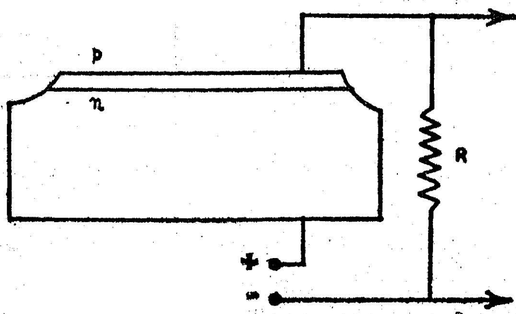
ஓரளவு மின் துளைகளில் ஊடுருவி நிரப்பிவிடுகின்றன. எனவே, இந்தச் சந்திப்பை ஒட்டி, மின் துகள் குறைந்த மண்டிலமொன்று (depleted region) செயல்படுகிறது. இப்பொழுது இந்த ஒருங் கிணைந்த குறைகடத்திக் கிடையே ஓர் எதிர் மின்னோட்டத்தைச் செயல்படுத்தினால் இந்த மின் துகள் குறைந்த மண்டிலம் (*A*) மேலும் அதிகரிக்கும் (படம் 4.12a) இந்த மண்டிலத்தில் ஓர்



படம் 4·12a

p-n டிரான்சிஸ்டர் செயல்படும் முறை.

அணுக்கருத் துகள் பாய்ந்து, தன் இயக்க ஆற்றலை இழக்குமானால் இந்த மண்டிலத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் 'கடத்தல் பட்டைக்கு' மாற்றப்பட்டு மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. இதுபோல் மின் துளைகள் எதிர்த் திசையில் ஊர்ந்து மின்னோட்டத்தை உண் டாக்குகின்றன. இதனால் ஏற்படும் மின் துடிப்பு 10^{-9} செகண்டு காலமே இருக்கும். இந்த வகை உணர் கருவிகள் செயல்படும் முறையைப் படம் 4-12b விளக்குகிறது. உட்புகும் துகள்களின்



படம் 4·12b

ஒரு திடப்பொருள் எண்ணி செயல்படும் முறை.

இயக்க ஆற்றலுக்கேற்ப மின்னோட்டம் இருப்பதால் துகள்களின் இயக்க ஆற்றலைக் காண இவ்வகை உணர் கருவிகள் சிறந்தவை களாகக் கொள்ளப்படுகின்றன.

ஒரு திடப்பொருள் உணர் கருவிக்கும், வாயுப்பொருளை உணர்வியாகக் கொண்ட ஓர் உணர் கருவிக்கும் உள்ள வேறுபாடு களைப் பின்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

அட்டவணை 4·2

திடப்பொருள் உணர்கருவிகள்	வாயு உணர்கருவிகள்
1. நிறுத்துதிறன் மிக அதிகம்.	நிறுத்து திறன் குறைவு.
2. ஓர் எலக்ட்ரான் மின் துளை இரட்டையை உருவாக்கத் தேவையான ஆற்றல் 3evகளே ஆகும். எனவே குறைந்த இயக்க ஆற்றல் பெற்ற துகள்களும் நிறைய எலக்ட்ரான் - மின் துளை இரட்டையை உருவாக்க முடியும்.	ஓர் எலக்ட்ரான் நேர்மின் அயனி இரட்டையை உருவாக் கத் தேவையான ஆற்றல் 35 ev ஆகும்.
3. உருவாகும் எலக்ட்ரான் மின்துளை இரட்டை எண் ணிக்கை, வீசும் துகள் களின் இயக்க ஆற்றலைப் பொறுத்து இருப்பதால் துகள்களின் இயக்க ஆற் றலைத் துல்லியமாகக் காணு தல் இயலும்.	உண்டாக்கப்படும் அயனி இரட்டைகள் எப்பொழுதுமே வீசப்படும் துகள்களின் இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் எனக் கூற இயலாது.
4. இவ்வகை உணர்விகள் இலேசானவை, நீண்ட காலம் உழைக்கும் தன்மை பெற்றவை. ஆனால் இவற்றைத் தயாரிக்க மிக மிக நுணுக்கமான பொறி யியல் முறைகள் தேவை.	இவ்வகை உணர் கருவிகள் உருவாக்குவது மிகமிக எளிது.
5. காமாக் கதிர்களை உணர, இந்த வகைக் கருவிகள் அதிகமாகப் பயன்படாது. ஏனெனில், காமாக் கதிர் களின் செல் தொலைவு பொதுவாக அதிகம்.	ஒளி-மின் விளைவு, காம்ப் டன் விளைவு போன்றவற்றைப் பயன்படுத்தி, காமாக் கதிர் களின் ஆற்றலைக் காண இய லும்.

வினுக்கள்

1. ஒரு கைகர்-முல்லர் எண்ணி செயல்படும் முறையை விளக்குக.

விகித எண்ணிக்கும் . கைகர் எண்ணிக்கும் உள்ள வேறுபாடுகளைக் கூறுக.

2. 0·5 பைக்கோ ஃபாரட் மின் தேக்கத் திறனுடைய அயனிக்கல அமைப்பு வழியாக ஊடுருவும் ஆல்ஃபாத் துகள், அந்த அயனிக்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்ட ஒரு கால்வனு மீட்டரில் 0·2 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தைக் காட்டுகிறது. ஆல்ஃபாத் துகள்களின் இயக்க ஆற்றலைக் காண். (ஓர் அயனி இரட்டை உருவாக்கத் தேவையான ஆற்றல் 35 ev

$e = 1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ கூலும்)

3. ஒரு கைகர் எண்ணி செயல்படும் முறையைக் குறிப்பாகக் கீழ்க்கண்ட தலைப்புகளில் விளக்குக.

(அ) கருவி அமைக்கும் முறை.

(ஆ) நேர்மின் அயனி தணிக்கும் முறை.

(இ) செயல் திறம்.

(ஈ) பகுநேரம்.

(உ) சமவெளிப் பண்பு.

4. ஒரு மினுமினுப்பு உணர் கருவி செயல்படும் முறையை விளக்குக. அவ்வகை உணர் கருவிகள் கைகர் எண்ணியை விட எந்தவிதத்தில் மாறுபட்டவை என்பதையும் விவரி.

5. ஒரு முகிற்கலம் செயல்படும் முறையை விளக்குக. பின் வருபவற்றைப் பற்றிக் குறிப்பு எழுதுக.

(அ) விரவல் முகிற்கலம்.

(ஆ) குமிழ்க்கலம்.

6. அணுக்கருப் பூச்சு முறை உணர் கருவிகள் செயல்படும் முறையை விவரிக்கவும். முகிற்கலம், அணுக்கருப் பூச்சு முறை இவற்றிற்கிடையே உள்ள வேறுபாடுகளை விவரி.

7. திடப்பொருள்களைக் கொண்டு துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் அறியும் முறையை விவரிக்கவும்.

8. துகள்களின் ஆற்றலை அறியப் பயன்படுத்தப்படும் முறைகளைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுதவும். எந்தெந்தத் துகள்களுக்கு எந்தெந்த இயக்க ஆற்றல் பகுதியில், எவ்வெவ்வகைச் சிறந்தது எனக் குறிப்பிடவும்.

9. மின்னூட்டமில்லாத துகள்களின் ஆற்றல் அறிய எந்தெந்த உணர் கருவிகளைப் பயன்படுத்தலாமென்பதை விவரிக்கவும்.

5. கதிரியக்க ஆய்வு தந்த சில புதுமைக் கருத்துகள்

5.1 முன்னுரை

அறிவியலாளர்கள் கதிரியக்கத்தினுல் வீசப்படும் துகள்களின் ஆற்றல், மின்னேட்டம், அவற்றின் செயலெதிர்ச் செயல் பண்பு போன்றவற்றைச்செம்மையாக உணர்ந்தபோது தொன்றுதொட்டு வந்த சில முதுபழங்கொள்கைகளை மாற்றிப் புதிய ஏற்றமிகு கொள்கைகளை உருவாக்கவேண்டிய நிலைமை ஏற்பட்டது. எதிர் கொண்ட இடர்களை எல்லாம் தவிர்த்துப் புதிய கருத்துகளை உலகோர் முன் வைத்து அறிவியலில் முன்னேற்றம் கண்ட விஞ்ஞானிகளின் ஆய்வு அனுபவங்கள் தலைசிறந்த புதினத்தைவிட சுவையானவை. கதிரியக்கம் பற்றிய ஆய்வுகள் தந்த அணுக்கரு பற்றிய புதுமைக் கருத்துகளை இந்த அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

ஆல்ஃபா துகள்

5.2 ஆல்ஃபா துகள்கள் சிதறுதலும் ருதர்ஃபோர்டு அணு மாதிரியும் (α-ray Scattering and Rutherford Atom Model)

J. J. தாம்சன் (J. J. Thompson) என்பவர் முதன் முதலில் அணுவின் கட்டமைப்பு பற்றி தன் கருத்தினை வெளியிட்டார். 'இயற்பியல் விஞ்ஞானிகளின் மெக்கா' என அழைக்கப்பட்ட காவெண்டிஷ் ஆய்வுக் கூடத்தின் (Covendish Laboratory) தலைமை விஞ்ஞானியாக இருந்த இந்த ஆங்கில நாட்டு அறிஞரின் கருத்துப் படி, அணுவின் நேர் மின்னேட்டம் பெற்ற துகள்கள் அணுவின் பருமனுடைய கோளம் ஒன்றில் சீராகப் பரவியிருக்கிறதென்றும், எலக்ட்ரான்கள் இந்தக் கோளத்தினூடே பரவியிருக்கிறதெனவும் கொள்ளலாம். ஓர் அணு சாதாரணமாக, மின்னூட்டமற்றிருப்பதால், எலக்ட்ரான்களுக்கிடையே ஏற்படும் எதிர்ப்புவிசைகளும், எலக்ட்ரான்களின் எதிர் மின்னூட்டத்திற்கும், நேர் மின்

னூட்டமுடைய கோளத்திற்குமிடையே உண்டாகும் ஈர்ப்பு விசைகளும் ஒன்றையொன்று ஈடு செய்துகொள்ளும் நிலையில் இந்த எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கோளத்தினுள் பரவிக்கிடக்கின்றன என்றும் கொண்டு, ஓர் 'அணு மாதிரிப் படிவத்தை' (Atom model) உருவாக்கினுர். மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்கள் அவற்றின் சமநிலைப் புள்ளிகளை மையமாகக் கொண்டு அலைவுறும்போது மின் காந்தக் கொள்கையின்படி அவை தன் ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக வெளியிட வேண்டும். எனவே, இவ்வாறு கணக்கிடப்படும் கதிர் வீச்சின் அதிர்வெண் அந்தத் தனியம் வெளியிடும் அல்லது உட்கவரும் கதிரின் அதிர்வெண்ணுக அமைதல் வேண்டும் என்றுர் அவர். இந்தக் கணக்கின்படி ஹைட்ரஜனுக்கு ஒரே ஒரு வரியைக் கொண்ட நிறமாலைதான் இருக்கவேண்டும். ஆயினும் ஹைட்ரஜன் பல நிறமாலைத் தொகுதிகளையும், ஒவ்வொரு தொகுதியிலும் பல வரிகளையும் கொண்டிருக்கிறது என்பது செய்முறைச் சோதனை களில் நாம் அறிந்த உண்மையாகும். எனவே, தாம்சன் அணு மாதிரி பிழையுடையது என்பது தெரியவந்தது. அதே நேரத்தில் ரூதர்ஃபோர்டும் கைகரும் கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து பெற்ற ஆல்ஃபாத் துகள்களைப் பல இலக்கு அணுக்களில் மோதும்படி செய்து, அதனுல் ஏற்படும் சிதறுதலை (scattering) ஆய்ந்து கொண்டிருந்தார்கள். ஆல்ஃபாத் துகள்கள், இலக்கையடைந்து சிதறுதலுற்று வெளிவரும் கோணத்தை அறிய அவர்கள் முற்பட் டார்கள். பெரும்பாலான துகள்கள் நேராக உணர்கருவியை

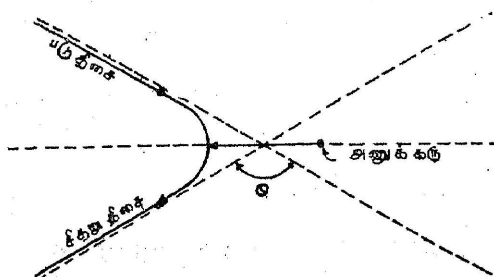


ருதர்ஃபோர்டு (Rutherford)

வந்தடைந்தபோதிலும் ஒரு சில ஆல்ஃபாத் துகள்கள் விரிகோணச் சிதறலுற்றன. மேலும், ஒருசில துகள்கள் இலக்கை நோக்கிச்

சென்ற பிறகு மீண்டும் வந்த வழி திரும்பும் விந்தையை ரூதர்ஃபோர்டும் மார்ஸ்டனும் (Marsden) கண்டார்கள். 10^7 மீட்டர்/செகண்டு திசைவேகத்தில் செல்லும் ஆல்ஃபாத் துகள்களை நிறுத்தி $180°$ கோணம் திருப்பி அனுப்பக்கூடிய விசை எதுவாக இருக்கக் கூடும்? அணுக்கோளத்தின் பருமனில் பரவியிருக்கும் நேர் மின்னூட்டம் இந்த அளவு விசையைத் தருதல் இயலாது எனவும் ரூதர்ஃபோர்டு கண்டார். எனவே, நேர் மின்னூட்டமுடைய துகள்கள் யாவும் ஒருசேர மிகக் குறைந்த இடத்திலிருந்துகொண்டு இணைந்து தரக்கூடிய மொத்த விசையே இவ்வாறு ஆல்ஃபாத் துகள்களை விரிகோணச் சிதறலுக்கு உட்படுத்த முடியும் என எடுத்துக் காட்டினார்.

அவர்தம் கருத்துப்படி அணுவின் நேர்மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின் மையத்தில் பொதிந்திருக்க வேண்டும். அணுவின் முழு நிறையும் அந்த மையத்தில்தான் செயல்பட வேண்டும். எலக்ட்ரானின் நிறை மிகக் குறைவானதால் அவற்றால் ஏற்படும்



படம் 5.1

ரூதர்ஃபோர்டு ஆல்ஃபாக் கதிர் சிதறல்

சிதறலுறுதலும் மிகமிகக் குறைவானதாகத்தான் இருக்க முடியும். ஆயினும், நிறை அதிகமுள்ள அணு மையத்திலுள்ள நேர் மின்னூட்டமுடைய கரு ஆல்ஃபாத் துகள்களை வன்விசையோடு சிதறடிக்க முடியும். ஒரு தனிமத்தின் அணு எண் 'Z' என்றால் அந்த மையக்கருவின் மொத்த நேர் மின்னூட்டம் Ze ஆகும். எனவே, நேர் மின்னூட்டமுடைய ஆல்ஃபாத் துகள்கள் கூலும் விதிப்படி எதிர்ப்பு விசைக்கு ஆளாகிச் சிதறடிக்கப்படுகின்றன. அவ்வாறு சிதறடிக்கப்பட்ட ஆல்ஃபாத் துகள்களின் பாதை ஓர் அதிபரவளையமாக (Hyperbola) அமைகிறது. இந்த அதிபரவளையத்தின் வெளிக் குவியம்தான் நேர் மின்னூட்டமுடைய அணுக்கரு (nucleus) அமையும் இடமாகும். எனவே, அணுக்கருவை நேருக்கு நேராக மோதும் (head on collision) ஆல்ஃபாத் துகள்கள்தான் கருவின் மிக அருகில் செல்ல இயலும். இந்தத் தொலைவு மீச்சிறு நெருங்கு தூரம்

'b' (least impact parameter) எனப்படும். இந்த α-துகள்கள் தன் இயக்க ஆற்றல் யாவற்றையும் இழந்து பிறகு அணுக்கருவின் எதிர்ப்பு விசையால் வந்த வழியே திருப்பி அனுப்பப்படுகின்றன. எனவே, 'மீச்சிறு நெருங்குதூரத்தில்' இந்த α-துகள்களில் இயக்க ஆற்றலும் கூலும் விசையும் ஒரே அளவுள்ளதாகும்.

$$\frac{1}{2}\, m_\alpha\, v_\alpha^2 = \frac{Ze \cdot 2e}{(4\pi\, \epsilon_0)\, b} \tag{5·1}$$

$\epsilon_0 \longrightarrow$ வெற்றிடத்தின் மின் ஏற்பு மாறிலி.

$$\therefore\ b = \frac{4\ Ze^2}{(4\pi\, \epsilon_0)\, m_\alpha\, v_\alpha^2} \tag{5·2}$$

ஓர் இலக்கினின்று ஓர் உணர்கருவி 'a' தொலைவில் வைக்கப் பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். 't' பருமனும், ஒரு கன செ.மீ.க்கு 'n' எண்ணிக்கை அணுக்களும் கொண்ட இந்த இலக்கை நோக்கி 'Q' எண்ணிக்கை துகள்கள் வீசப்படுகின்றன என்றும் கொள்வோம். இப்பொழுது துகள்களின் படுதிசையிலிருந்து θ கோணத்தில் சிதறிவரும் துகள்களின் எண்ணிக்கை N என்றால்,

$$N = \frac{Q\, nt\, b^2}{16Q^2\, \sin^4 \frac{\theta}{2}} \tag{5·3}$$

என்று ரூதர்ஃபோர்டு கணக்கிட்டார்.

b — மீச்சிறு நெருங்கு தூரம்.

வெவ்வேறு இலக்கு நோக்கி ஆல்ஃபாத் துகள்களை வீசும் பொழுது ஒவ்வோர் இலக்குக்கும் bயின் மதிப்பைக் கணக்கிட முடியும். காட்டாக $_{92}U^{238}$ஐ இலக்காகக் கொண்டால் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் இலக்குக் கரு அருகே 10×10^{-13} செ.மீ. வரை செல் கிறது என்றும் கண்டார். எனவே, ஓர் அணுக்கருவின் பருமனையும் இது குறிக்கும் எனலாம். எக்ஸ்-கதிர் சிதறலைக்கொண்டு ஓர் அணுவின் பருமனைக் காணமுடியும். அவ்வாறு காணும்பொழுது ஓர் அணுவின் பருமன் 10^{-8} செ.மீ. எனத் தெரியலாயிற்று. எனவே, அணுக்கரு அணுவைவிட 10^5 மடங்கு சிறியது என்றாகியது. ஆகவே இவற்றின் இடையிடம் ஒரு வெற்றிடமாகும். நீல்ஸ் ஃபோரின் அணு மாதிரி ரூதர்ஃபோர்டின் இந்த அணு மாதிரியையே அடிப் படையாகக் கொண்டது. தனிமங்கள் வீசும் நிறமாலையை ஃபோர் அணு மாதிரி ஓரளவிற்கு விளக்கிற்று என்று முன்பே பார்த்தோம்.

5.3 α-துகள்கள் அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேறுதலும் முதுபழங் கொள்கைகளின் தோல்வியும் (α-decay and failure of classical theory)

ஆல்ஃபாத் துகள்கள் அணுக்கருவிலிருந்து 'சுழி' திசைவேகத்தில் வெளியேற்றப்பட்டாலும் அது தன் தாய் அணுக்கருவின் கூலும் எதிர்ப்பு விசையால் உந்தப்பட்டு ஓர் இயக்க ஆற்றலைப் பெறும். எனவே, அந்த ஆல்ஃபாத் துகள் பெற்ற பெரும இயக்க ஆற்றல், அந்தத் துகள் அணுக்கருவிலிருந்து விடுபட்டுப் பிரியும் நேரத்தில் உள்ள கூலும் விசையாகும்.

$$\text{இயக்க ஆற்றல்} = \frac{Ze\ (2e)}{(4\pi\ \epsilon_0)\ r} \tag{5·4}$$

$r \rightarrow$ ஆல்ஃபாத் துகள்கள் அணுக்கருவிலிருந்து பிரிந்த நேரத்தில் அதற்கும் அணுக்கரு மையத்திற்கும் இடையே உள்ள சிறுமத் தொலைவு.

ஒரு $_{92}U^{238}$-லிருந்து வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் $4·2\ Mev$ ஆகும் எனச் சோதனைகளால் கண்டு பிடித்துள்ளார்கள். எனவே, சமன்பாடு (5·4)ன்படி r-ன் மதிப்பை 63×10^{-13} செ.மீ. எனக் கணக்கிடலாம்.

சமன்பாடு 5·4ன் படி

$$\therefore\ r = \frac{2 \times 92 \times (1·6 \times 10^{-19})^2 \times 9 \times 10^9}{(4·2 \times 1·6 \times 10^{-13})}$$

$$= 6·3 \times 10^{-12}\ \text{செ.மீ.}$$

எனவே, இந்தச் சிறுமத்தொலைவுதான் ஆல்ஃபாத் துகள்கள் வெளியேற்றப்பட்ட பிறகு உள்ள $_{90}Th^{284}$ன் ஆரம் எனலாம். இந்த வகையில் கணக்கிடும் முறை முதுபழங்கொள்கையைச் சார்ந்தது. ஆயினும் ரூதர்ஃபோர்டு ஆல்ஃபாத் துகள்களை $_{90}Th^{284}$ இலக்கை நோக்கித் தாக்கும்படி செய்து அதனால் ஏற்பட்ட சிதறல் வழியில் சமன்பாடு (5·3)ன்படி, இத் துகள்கள் 10×10^{-13} தொலைவு வரை அந்த இலக்குக் கருவருகே செல்லமுடியும் ($b = 10 \times 10^{-13}$) என்று கண்டார். இந்த முறையைப் பின்பற்றி bயின் மதிப்பை 'r' ஆகக்கொண்டு சமன்பாடு (5·4)ல் ஈடிட்டால், $_{92}U^{238}$, வெளியேறும் α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் $28\ Mev$ இருக்க வேண்டும். எனவே, சோதனைகளின் வழி நிரூபிக்கப்பட்ட இயக்க ஆற்றல், $4·2\ Mev$ பெற்ற α-துகள்களை $_{92}U^{238}$ வெளியேற்ற முடியாது. ஏனெனில், முதுபழங்கொள்கைப்படி $28\ Mev$ இயக்க ஆற்றலுக்கும் அதிகமான ஆற்றல் பெற்ற α-துகள்களே $_{92}U^{238}$ அணுக்கருவிலிருந்து வெளியேற முடியும். $4.2\ Mev$ இயக்க ஆற்றல் பெற்ற

α-துகள்கள் 28 Mev மின்னழுத்த அரண் பெற்ற அணுக் கருவினின்று எங்ஙனம் வெளியேற முடியும்? இதற்கு முதுபழம் கொள்கையால் விளக்கங் கூற இயலவில்லை.

5.4 ஆல்ஃபாச் சிதைவும் அலைவிசையியக்கவியலும் (Wave Mechanics and α-decay)

பருப்பொருளின் அலைவிசையியக்கக்கொள்கையைக் கொண்டு இதற்கு விளக்கம் கூற இயலும் என்பதை ஜார்ஜ் காமோ (George Gamow) என்ற அமெரிக்கநாட்டு அறிஞரும், காண்டன் (Condon) குர்னி (Gurney) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும் ஒரே நேரத்தில் எடுத்துக் கூறினர். துகள்கள், மின்னழுத்த அரணைத் தாண்டாமல் புழல் விளைவாகச் (Tunnel effect) செல்ல முடியும் என்பதை, அலை விசையியக்கக் கொள்கை வழி சிறப்பாக எடுத்துக் காட்டினர். அணுக்கருவினுள் உள்ள α-துகள்கள் ஏதோ ஓர் அணுக்கரு விசை யினால் (nuclear forces) கட்டுண்டு கிடக்கின்றன. (α-துகள்கள் அணுக்கருவினுள் உள்ளபோது அவற்றிற்கென்று எந்த ஒரு தனித் தன்மையுமின்றிதான் இருக்க முடியும். எனினும், அவை வெளி யேற்றப்படும் நேரத்திலாவது α-துகள்களாக இருக்கின்றன என்று கொள்வோம்), அணுக்கருவினுள் இந்த α-துகள்களின் திசைவேகம் 'v' என்றால் அவை அணுக்கருவின் சுவர்களை மோதும் எண்ணிக்கை,

$$\nu = \frac{v}{D} \tag{5·5}$$

D என்பது அணுக்கருவின் விட்டம்.

D-ன் மதிப்பையும், $v = 2 \times 10^7$ மீட்டர் செகண்டு$^{-1}$ என்ற மதிப் பையும், சமன்பாடு (5·5)-ல் பதிலீடு செய்தால்,

$$\nu = 10^{21} \cdot s^{-1} \tag{5·6}$$

எனக் கிடைக்கிறது.

எனவே, ஒவ்வொரு α-துகளும் மின்னழுத்த அரணை ஒரு செகண் டிற்கு 10^{21} முறை மோதுகின்றது.

இப்பொழுது, 4·2 Mev இயக்க ஆற்றலுடைய ஒரு α-துகள் மின்னழுத்த அரணைக் குடைந்து வெளியேறுவதற்கான நிகழ்திறம் $\bar{p}$ என்றால் $\bar{p}\nu$ அந்த α-துகள் வெளி வரும் நிகழ்திறனை அதாவது α-துகள் சிதைவு எண் 'λ' வைக் குறிக்கும்.

$$\lambda = \bar{p}\nu \tag{5·7}$$

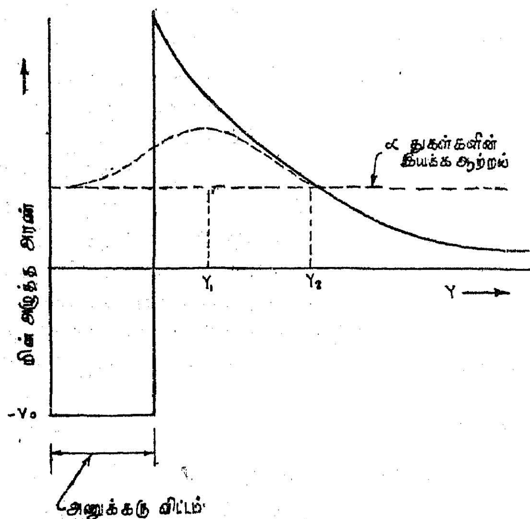
$\bar{p}$-ன் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக (10^{-39}) இருக்கலாம். என்றாலும், α-துகள்களின் சிதைவு எண்ணின் மதிப்பை இதனால் துல்லியமாகக் குறிப்பிட முடிகிறது.

$_{92}U^{238}$ தனிமத்திற்கு

$$\lambda = 10^{21} \times 10^{-39}$$

$$= 10^{-18} \text{ செகண்டு}^{-1} \quad (5 \cdot 8)$$

இவ்வாறு α-துகள்கள் அணுக்கருவின் மின்னழுத்த ஆற்றல் அரணைத் துளைத்துச் செல்லும் விளைவு, புழல் விளைவு (Tunnel effect) என்று பெயர் பெறும். படம் (5·2) புழல் விளைவை விளக்குகிறது.



படம் 5.2

α-துகள் புழல் விளைவு

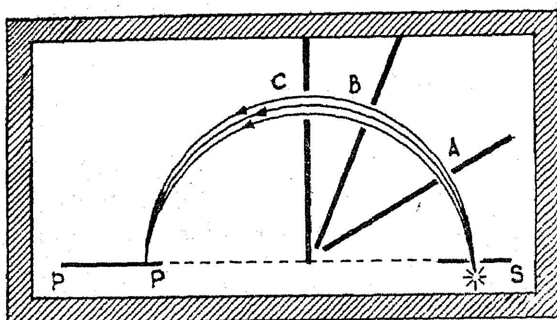
பருப்பொருளின் அலைவிசையியக்கக் கொள்கை நுண் விளைவுகளைத் திறம்பட விளக்க முடியும் என்பதற்கு α-சிதைவுக்கான இந்த விளக்கம் ஓர் எடுத்துக்காட்டு.

5.5 α-கதிர்களின் ஆற்றல்மாலை (α-ray Spectra)

α-கதிர்களின் $\left(\frac{E}{M}\right)$ காணும்போது ஒரு கதிர் இயக்க மூலத்திலிருந்து வீசப்படும் α-துகள்களின் திசைவேகம் (எனவே, இயக்க ஆற்றல்) மாறாத ஒன்று என்று கொண்டோம். ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் சிதைவுறுதலின் கைகர்-நட்டால் விதி (சமன்பாடு 3·2) இவ்வாறான ஓர் அடிப்படைக் கருத்தைக் கொண்டதுதான். அவ்வப்பொழுது

சோதனைகள் வழியாகத் தெரியவந்த திசைவேக மாறுபாடுகள் கூட α-துகள்கள் பருப்பொருளினுள் அலைந்து திரிவதால் (straggling) ஏற்படும் மாற்றங்களே எனக் கருதப்பட்டு வந்தன. ஆயினும், ரூதர்ஃபோர்டு மற்றும் வுட் (Wood) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும் $_{84}Po^{212}$, $_{84}Po^{214}$ போன்ற தனிமங்களிலிருந்து வீசப்படும் α-துகள்களில் சில மற்றத் துகள்களைவிட மிக அதிகச் செல்தொலைவும் இயக்க ஆற்றலும் பெற்றிருப்பதைக் கண்டார்கள். இவ்வித α-துகள்கள் 'அதிசெல்தொலைவு பெற்ற α-துகள்கள்' (long range α-particles) என வழங்கப்படுகின்றன. 1931ஆம் ஆண்டு ரூதர்ஃபோர்டு ஒரு நுட்பமான பகு அயனிக்கலம் (Partial Ionisation Chamber) கொண்டு $_{83}Bi^{214}$ அணுக்கருவினின்று வீசப்படும் α-துகள்களை ஆய்ந்து இவை சம ஆற்றல் பெற்றவை அல்லவென்றும் தனித்தனி ஆற்றல் பெற்ற வெவ்வேறு α-துகள் குழாமாக இவை வீசப்படுகின்றன என்றும் கண்டுபிடித்தார்.

இந்த ஆராய்ச்சியில் மிகத்தீவிரமாக ஈடுபட்ட மற்றொருவர் ரோசன்பிளம் (Rosenblum) என்ற பிரஞ்சுநாட்டு அறிஞராவார். இதன்பொருட்டு அவர் ஒரு புது முறை காந்தப்புல ஆற்றல் வரைவியை உருவாக்கினார். அது செயல்படும் முறையைப் படம் (5.3) விளக்குகிறது.



படம் 5.3

காந்தப்புல ஆற்றல்மாலை வரைவி

α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் வேறுபட்டிருந்தால் ஒரு படித்தான காந்தப்புலம் ஒன்றினால் அவை ஈர்க்கப்படும்பொழுது, வெவ்வேறு திசை விலக்கங்களடையும்.

$$BEv = \frac{Mv^2}{R}$$

எனவே,

$$v = BR\left(\frac{E}{M}\right) \tag{5·9}$$

BR ⟶ காந்தப்புலத் திண்மை.

v ⟶ α-துகள்களின் திசைவேகம்.

$\frac{E}{M}$ ⟶ α-துகள்களின் மின்னூட்ட நிறைதகவு.

எனவே (i) A, B, C போன்ற பிளவுகள் அமைப்பு, (ii) ஒளிப் படத்தட்டில், வெவ்வேறு இடத்தில் வரிவரியாக விழும் α-துகள் களின் குறி, (iii) கதிரியக்க மூலம் (S) இவற்றின் அமைப்பைக் கொண்டு R-ன் மதிப்பைக் காணுதல் எளிது. எனவே, சமன்பாடு (5·9)-ன்படி v-யின் மதிப்பைக் காண முடியும்.

α-துகள்களின் திசைவேகம், ஒளியின் வேகத்திற்கிணையாக இருந்தால் சமன்பாடு (5·9)ஐச் சார்பியல் கொள்கைப்படி (சமன்பாடு 1·3)

$$v = BR\frac{E}{M_o}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \tag{5·10}$$

என எழுதலாம்.

எனவே, சமன்பாடு 1·6ன்படி, α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்,

$$T = M_o c^2\left[\frac{1}{\sqrt{\frac{1-v^2}{c^2}}} - 1\right] \tag{5·11}$$

α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றலும் α-துகள்களின் சிதைவு ஆற்றலும் ஒன்றல்ல என்பது இங்குக் குறிப்பிட வேண்டியதவசியம். ஓர் ஆல்ஃபாத் துகள் வீசப்படுமேயாயின் சேய் அணுக்கரு பின் உதைக்கப்பட்டு இயக்க ஆற்றலில் ஒரு பகுதியைத் தன்னுடைய உந்தத்திற்குச் செலவழிக்கிறது. எனவே, α-துகள்களின் சிதைவு ஆற்றல், இந்தப் பின் உதைப்புக்குச் செலவழித்த ஆற்றல் மற்றும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் இவற்றின் கூடுதலுக்குச் சமம்.

$$E_\alpha = \frac{1}{2}M_r v_r^2 + \frac{1}{2}Mv^2 \tag{5·12}$$

E_α ⟶ α-துகள்களின் சிதைவு ஆற்றல்

M_r ⟶ சேய் அணுக்கருவின் நிறை.

M ⟶ α-துகளின் நிறை.

$v_r \longrightarrow$ சேய் அணுக்கருவின் திசைவேகம்.
$v \longrightarrow$ α-துகளின் திசைவேகம்.

உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி

$$Mv = M_r v_r \tag{5·13}$$

$$\therefore v_r = \left(\frac{M}{M_r} \right) v \tag{5·14}$$

v_r-ன் மதிப்பை (5·14)லிலிருந்து (5-12)ல் ஈடிட்டால்,

$$E_\alpha = \frac{1}{2} Mv^2 \left(1 + \frac{M}{M_r} \right) \tag{5·15}$$

எனவே, α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றலும் சேய் அணுக் கருவின் நிறையும் தெரிந்திருந்தால் α-துகள்களின் சிதைவு ஆற்றல் அறியலாம். பல அணுக்கருக்களிலிருந்து வீசப்படும் α-துகள் களின் ஆற்றலை மிகத்துல்லியமாகக் கணக்கிட்டால் அவை சம ஆற்றலாக இராமல், ஓர் ஆற்றல் மாலையாக அமைவதைக் காண லாம். இந்த ஆற்றல்மாலை தோன்றக் காரணம் என்ன? ஜார்ஜ் காமோ (George Gamow), அணுக்கருக்கள் குறிப்பிட்ட சில ஆற்றல் மட்டங்களைக் கொண்டிருக்கின்றன என்ற புதிய கருத்தை உலகோர் முன் வைத்து இந்த ஆற்றல்மாலை தோன்றும் காரணத்தை மிகத் தெளிவாக விளக்கினர். α-துகள்கள் வீசப் படும்போது அதனுடன் சேர்த்து வீசப்படும் காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் மாலையையும் அறிந்துகொண்டால்தான் காமோவின் விளக்கம் தெளிவாகப் புரியும். எனவே, γ-கதிர்களின் ஆற்றலைக் காண்பது அவசியமாகிறது.

5.6 காமாக் கதிர்களின் நிறமாலை காணல் (Gamma Ray Spectra)

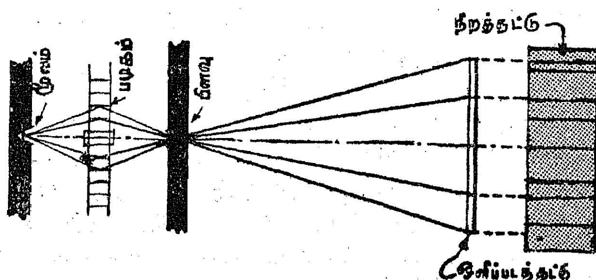
5.6·1 படிக நிறமாலைமானி (Crystal Spectrameter) : காமாக் கதிர்களும் மின்காந்த அலைகளேயாதலால் எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளம் காணும் ப்ராக் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலைமானி (Bragg's X-ray Spectrameter) முறையைப் பயன்படுத்தி காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலைக் காண இயலும். ப்ராக், ஒரு படிகத்தை முப்பரிமாணக் கீற்றணியாகப் பயன்படுத்தி, படிகத்தில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுக் கான சமன்பாடொன்றைக் கண்டார்.

ஓர் ஒற்றை நிற எக்ஸ்-கதிரின் அலைநீளம் λ என்றும், படி கத்தின் தளத்தில் இது $\theta°$ சாய்கோணத்தில் படுவதாகவும், அந்தத் தளத்தில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு அடுக்குகளுக்கிடையே யுள்ள தூரம் 'd' என்றும் கொண்டால்,

$$n\lambda = 2d \sin\theta \tag{5·16}$$

என்பதாக ப்ராக் விதி கூறுகிறது.

இங்கு n என்பது ஒரு முழு எண் ஆகும். காமாக் கதிர்கள் மிகக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்-கதிர்களேயாதலால் இந்த முறையைப் பயன்படுத்தி காமாக் கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் காண இயலும். ருதர்ஃபோர்டும் ஆண்ட்ரேடும் (Andrade) பயன் படுத்திய படிக, விளிம்பு விளைவு நிறமாலைமானியைப் படம் (5.4)-ல் காணலாம்.



படம் 5·4.

காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலைக் காணும் படிக விளிம்பு விளைவு நிறமாலைமானி

குழிவில்லை போன்ற வளைபரப்பு தளமுடைய படிகங்களைக் கொண்ட வரிசையில் விளிம்பு விளைவால் விலக்கப்பட்ட காமாக் கதிர்களை ஒரே இடத்தில் குவியச்செய்து செறிவை அதிகரிக்கும் முறையை 1956ஆம் ஆண்டு ஹாமர்மெஷ் (Hammermesh) செயல் படுத்தி ப்ராக் முறையில் காமாக் கதிர்களின் அலைநீளம் கண்டு பிடிக்கும் முறையைச் செம்மைப்படுத்தினார். அலைநீளம் தெரி வதன் வாயிலாக அதிர்வெண்ணையும், ஆற்றலையும் காண்ப தெளிது. ஆயினும், அதிர்வெண் மிக அதிகமானால் அலைநீளம் குறைந்து, விளிம்பு விளைவுக் கோணம் மிகவும் குறையும். தெளி வாக அளக்கக்கூடிய மிகக்குறைந்த கோணத்திற்குத் தேவையான 'd' உள்ள படிகம் கிடைக்காமல் போய்விடக்கூடும். எனவே, இந்த முறையில் 1000 *Kev*-க்கு அதிகமான ஆற்றலுடைய காமாக் கதிர் களின் ஆற்றல் காண இயலாது. எனவே, அதிக ஆற்றலுடைய காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலறிய வேறு பல துணை விளைவுகளைப் பயன்படுத்துவது அவசியமாகிறது.

5.6·2 ஒளிமின் விளைவு முறை: காமாக் கதிர் ஓர் உட்கவர் தனிமத்தினுள் புகுந்தால் தன் ஆற்றல் முழுவதையும் அந்தத் தனிமத்தின் அணுவைச் சார்ந்த சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான் களில் மோதி இழக்கிறது. இந்த ஆற்றலால் தன் சுற்றுப் பாதையைவிட்டு வெளியேறும் எலக்ட்ரான்கள் ஒளிமின் விளைவு

எலக்ட்ரான்கள் (பகுதி 1·4) எனப்படும். இந்த எலக்ட்ரான் களின் ஆற்றலை ஓர் ஆற்றல் வரைவியைக்கொண்டு அறியலாம். இந்த எலக்ட்ரான்களின் பிணைப்பாற்றல் W என்றும், அவற்றின் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}mv^2$ என்றும் கொண்டால் காமாக்கதிரின் ஆற்றல் (E).

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + W \tag{5·17}$$

காமாக் கதிரின் ஆற்றலைக் கருத்தில் கொண்டால் எலக்ட்ரான் களின் பிணைப்பாற்றல் மிகக்குறைவாதலால் வெளியேற்றப்பட்ட ஒளிமின் விளைவு எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலே காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலாகக் கருதலாம். ஏறத்தாழ 1 *Mev* வரையில் காமாக் கதிரின் ஆற்றலை அறிய இந்த முறையே ஏற்றது.

5.6·3 உள்ளிட ஆற்றல் பரிமாற்று எலக்ட்ரான்கள் (Internal Conversion Electrons) : கதிரியக்க அணு சில நேரங்களில் காமாக் கதிரை வீசுவதைத் தவிர்த்து எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுகிறது. சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் (Characteristic X-ray) வீச்சு ஒன்று இதைப் பின் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. இந்த வகை எலக்ட்ரான் வெளியேற்றம் நடந்தபிறகு தாய் அணுக் கருவின் அணு எண் (Z) மாறுதிருப்பதால் இந்த வகை எலக்ட்ரான் வெளியேற்றம் கதிரியக்க விளைவால் ஏற்பட்ட β-கதிர்வீச்சு அன்று என்று தெளிவாகிறது. மேலும், இவை ஒளி மின் விளைவு எலக்ட்ரான்கள் என்று கூறவும் இயலாது. ஏனெனில், காமா அல்லது X-கதிர்கள் எலக்ட்ரான்களின்மீது மோதித் தன் ஆற்றலை அந்தச் சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களிடமிழந்தால் தான் ஒளிமின் விளைவு எலக்ட்ரான்கள் வெளியேறுவதாகக் குறிப்பிடுகிறோம். ஆயினும் இங்கு முதலில் காமாக் கதிர்கள் அணுக்கருவினின்று வீசப்படவேயில்லை. அவ்வாறெனின் இந்த எலக்ட்ரான் வீச்சு எவ்வகைப்படும்? அது வீசப்படுவதற்குக் காரணம் என்ன? அணுக்கரு α அல்லது β-துகள்களைக் கதிரியக்க முறையில் வெளியேற்றிய பிறகும் கிளர்ச்சி பெற்ற நிலையிலேயே இருக்கும். அது தன் ஓய்வு நிலையையடைய 'காமாக்' கதிரியக்க முறையில் தன் அதிகப்படி ஆற்றலை இழக்கலாம். சில நேரங்களில் இந்த ஆற்றல் γ-கதிர்வீச்சாக வெளியேறுமல், நேரடியாக அந்த அணுக்கருவைச் சுற்றியிருக்கும் K, L, M சுற்றுப்பாதை எலக்ட் ரான்களுக்குப் பரிமாற்றப்படுகிறது. எனவே, காமாக் கதிரின் ஆற்றலுக்கு ஈடான இந்த ஆற்றல், சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான் களைத் தம் பிணைப்பினின்று விடுவித்து இயக்க ஆற்றலுடன் வெளி யேற்றுகின்றது. காட்டாக, ஒரு K எலக்ட்ரான் வெளியேறுகிற

தென்று கொள்வோம். இப்போது L, M போன்ற தடங்களி லிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் இந்த இடத்தையடைந்து நிரப்புகிறது. எனவே, இந்தத் தாவலால் ஒரு K சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் வீச்சும் (K_α, K_β போன்றவை) உடன் நிகழும். ஒரு L எலக்ட்ரான், இவ்வாறு தாவுகிறது என்று கொண்டால் அதன் இடத்தை நிரப்ப M எலக்ட்ரான் தாவக்கூடும். எனவே, L சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர் வீச்சு (L_α, L_β...) நடைபெறலாம். இவ்வாறு தொடர்ந்து ஆற்றல் 'சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களாக' வெளிப்படுவதை, 'ஆகர் விளைவு' (Auger effect) எனக் கூறுவர். எனவே, அணுக்கரு தன் கதிரியக்கத் திற்குப் பிறகு புவிநிலைக்குச் செல்லும்போது வெளிப்படுத்தும் ஆற்றல் சில நேரங்களில் காமாக் கதிர்வீச்சாகவும், சில நேரங் களில் நேரடியாக சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களுக்குப் பரிமாற்றப் படுவதாகவும் அமைகிறது. இந்த இரண்டாம் வகை ஆற்றல் பரிமாற்று முறையால் வெளிப்படும் எலக்ட்ரான்கள்தாம் உள்ளிட ஆற்றல் பரிமாற்று எலக்ட்ரான்கள் எனப்படுகின்றன.

எனவே, இந்தவகை எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலையும், ஓர் ஆற்றல்மாலை வரைவியைக் கொண்டு அறியலாம். இந்த ஆற்றல் அந்த அணுக்கரு வெளிப்படுத்தக்கூடிய காமா ஆற்றலாகவும் இருக்கும்.

5.6·4 காம்ப்ட்ன் விளைவுமுறை : ஒரு காம்ப்டன் சிதறலால், காமாக் கதிர் (ஃபோட்டான்) தன் ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை இழந்து, குறைந்த அலைநீளத்துடன் செல்லும் என்று முன்பே (பகுதி 1.6) அறிந்தோம்.

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi) \qquad (5\cdot18)$$

λ ⟶ மோதலுக்கு முன் காமாக் கதிரின் அலைநீளம்.

λ_0 ⟶ மோதலுக்குப் பின் காமாக் கதிரின் அலைநீளம்.

ϕ ⟶ காமாக் கதிரின் படுதிசைக்கும் சிதறல் திசைக்கு மிடையேயுள்ள கோணம் (படம் 3.2)

$$\left.\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{c}{\nu_0} \\ \lambda &= \frac{c}{\nu} \end{aligned}\right\} \qquad (5\cdot19)$$

ν ⟶ சிதறலுக்கு முன் காமாக் கதிரின் அதிர்வெண்.

ν_0 ⟶ சிதறலுக்குப் பின் காமாக் கதிரின் அதிர்வெண்,

$$\therefore \quad \frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu_0} = \frac{h}{m_0 c}\,(1 - \cos\phi)$$

$$\therefore \nu = \frac{1}{\dfrac{1}{\nu_0} + \dfrac{h}{m_0 c^2}\,(1 - \cos\phi)} \qquad (5\cdot 20)$$

காமாக் கதிரின் ஆற்றல் மிக அதிகமாதலால், சிதறலுக்குக் காரணமாகிய எலக்ட்ரான்கள் கட்டற்றவை (free) எனக் கொள்ள லாம். ஆகவே, இந்த எலக்ட்ரான்கள் பெறும் இயக்க ஆற்றல் காமாக் கதிர் சிதறல் விளைவில் இழந்த ஆற்றலாகும்.

$$T = h\nu_0 - h\nu$$

$$= h\nu_0 - \frac{h}{\dfrac{1}{\nu_0} + \dfrac{h}{m_0 c^2}\,(1 - \cos\phi)} \qquad (5\cdot 21)$$

$$= h\nu_0 - \frac{h\nu_0}{1 + \dfrac{h\nu_0}{m_0 c^2}\,(1 - \cos\phi)}$$

$$= h\nu_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \dfrac{h\nu_0}{m_0 c^2}\,(1 - \cos\phi)}\right)$$

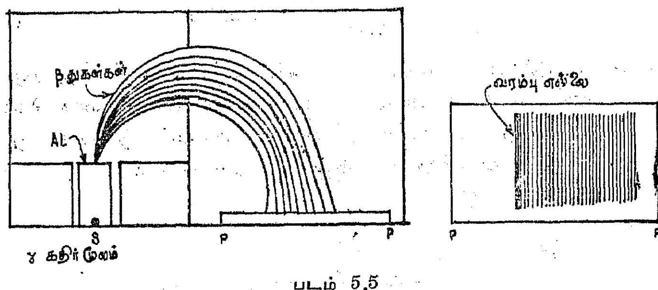
$$T = \frac{(1 - \cos\phi)\,\dfrac{(h\nu_0)^2}{m_0 c^2}}{1 + \dfrac{h\nu_0}{m_0 c^2}\,(1 - \cos\phi)} \qquad (5\cdot 22)$$

இப்பொழுது, காமாக் கதிருக்கும் எலக்ட்ரானுக்கும் நேருக்கு நேர் மோதலேற்பட்டால் சிதறிய காமாக் கதிர் படுதிசையிலிருந்து $180°$ கோணத்தில் திரும்பும் (ie) $\phi = 180°$. இத்தகைய மோதலில் ஆற்றல் பரிமாற்றமும் பெருமமாகும். இந்தப் பெரும ஆற்றல் பரிமாற்றம் T_m என்றால், சமன்பாடு (5.22)-ல் $\phi = 180°$ என்று கொள்ள,

$$T_m = \frac{\dfrac{2\,(h\nu_0)^2}{m_0 c^2}}{1 + \dfrac{2\,h\nu_0}{m_0 c^2}}$$

$$T_m = \frac{h\nu_0}{\dfrac{m_0 c^2}{2\,h\nu_0} + 1} \qquad (5\cdot 23)$$

ஓர் உட்கவர் தனிமம் காமாக் கதிர் வீசும் மூலப்பொருளைச் சூழ்ந்து இருக்குமாறு வைத்து அந்தத் தனிமத்திலிருந்து வெளியேறும் காம்ப்டன் எலக்ட்ரான்களை ஒரு காந்தப் புலத்தினால் பாதை விலக்கம் செய்யலாம் (படம் 5.5). இந்த எலக்ட்ரான்களின்



படம் 5.5

காம்ப்டன் விளைவால் தோன்றும் எலக்ட்ரான் தொடர் ஆற்றல்மாலை

ஆற்றல் குறிப்பிட்ட பெரும ஆற்றல் வரம்பெல்லையைக் கொண்டிருக்கும் ஒரு தொடர்மாலையாக அமையும். இந்தப் பெரும ஆற்றல் (T_m-ன்) மதிப்பைக்கொண்டு சமன்பாடு (5.23)-ன் வழி, $h\nu_0$-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

$$h\nu_0 = \tfrac{1}{2}\left[T_m + T_m^2 + 2\,T_m - m_0c^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (5\cdot24)$$

மேலும், இந்த காம்ப்டன் எலக்ட்ரான்களைத் தவிர ஒளிமின் விளைவு எலக்ட்ரான்களும் வெளிப்படுவதுண்டு. அவை இந்தத் தொடர்மாலையினூடே சிறப்பு வரிமாலையாகப் பதிந்திருக்கும்.

காம்ப்டன் விளைவு முறையில் காமாக் கதிரின் ஆற்றலை 1 *Mev*— 3 *Mev* வரையில் கணக்கிட முடியும். மேலும் அதிக ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிரின் ஆற்றலை, 'இரட்டைத் துகள்கள் ஆக்கம்' என்ற செயலெதிர்ப் பண்பைக் கொண்டு கணக்கிடுதல்தான் சிறந்த முறையாகும்.

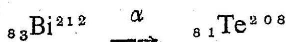
5.7 அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் (Nuclear Energy Levels)

அணுவின் மின்காந்த நிறமாலை, சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்கள் அணுவின் ஒரு மட்டத்திலிருந்து மற்றொரு மட்டத்திற்குத் தாவும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலேயாகும்.

அதேபோல, காமாக் கதிரும், ஒரு மின்காந்த அலையாதலால், அதன் ஆற்றல், அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களில் ஏற்படும் கிளர்ச்சி அடங்குவதால் வெளிப்படுவதாகும் என்று கொள்ள

லாம் என்ற புதிய கருத்தை ஜார்ஜ் காமோ எடுத்துக் கூறினர். ஓர் அணுக்கரு இயல்பாக அதன் புவிமட்ட ஆற்றல் நிலையைக் கொண்டிருக்கும். அணுக்கரு, கதிரியக்க முறையில், ஒரு துகளை வீசினல், சேய் அணுக்கரு தன் புவிமட்ட ஆற்றல் நிலையையடைகிறது என்று கொள்வோம். அப்பொழுது வீசப்பட்ட துகள் பெரும இயக்க ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கும். சில நேரங்களில் கதிரியக்கத்திற்குப் பிறகு சேய்க்கரு தன் கிளர்ச்சி ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒன்றில் விடப்படலாம். அப்பொழுது அது தன் புவி மட்ட ஆற்றல் நிலையை அடையும்போது இந்த இரு மட்டங் களுக்குமிடையே உள்ள மிகுதி ஆற்றல் காமாக் கதிராக வெளிப் படுகிறது.

எடுத்துக்காட்டாக ${}_{83}Bi^{212}$ என்ற தனிமம் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிரின் ஆற்றலையும், காமாக் கதிரின் ஆற்றலையும் காண்போம்.



$${}_{83}Bi^{212} \xrightarrow{\alpha} {}_{81}Te^{208}$$

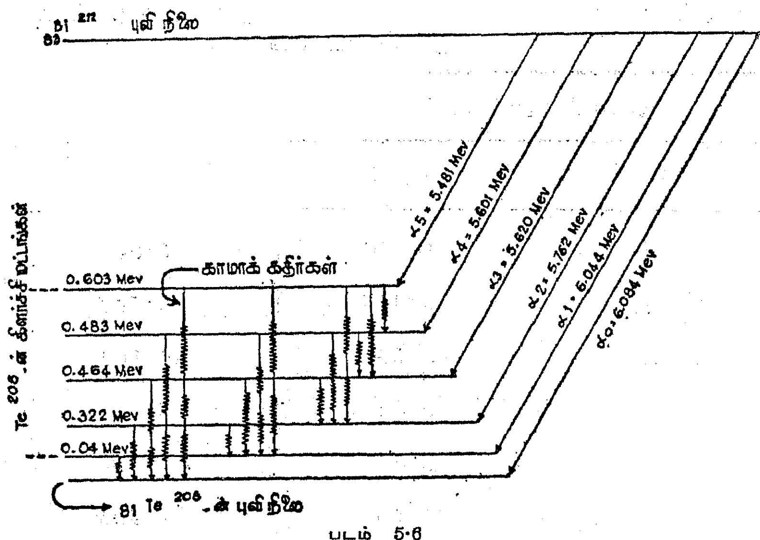
அட்டவணை 5·1

${}_{83}Bi^{212}$-ன் கதிரியக்கத்தினல் வெளிப்படும் α, γ-துகள்களின் ஆற்றல் அட்டவணை

α-கதிரின் ஆற்றல்-*Mev*		காமாக் கதிரின் ஆற்றல்-*Mev*
கதிர்	ஆற்றல்	
α_0	6·084	0·04
α_1	6·044	0·144
α_2	5·762	0·164
α_3	5·620	0·288
α_4	5·601	0·328
α_5	5·481	0·432
		0·448
		0·472

α_0 என்று குறிப்பிடப்பட்ட α-துகள்தான் மிக அதிகமான ஆற்றலைப் (பெரும ஆற்றலை) பெற்றிருக்கிறது. எனவே, இது

சேய்க்கரு $_{81}Te^{208}$, தன் அடிமட்ட நிலையையடைந்தபோது வெளிப்பட்ட α-கதிராகும். எனவே, 6·044 *Mev* ஆற்றலுடன் வெளியேறும் α-துகள், சேய்க்கரு கிளர்ச்சி ஆற்றல் மட்டம் ஒன்றில் விடப்பட்டதைக் குறிக்கும். அதாவது α_0க்கும் α_1க்குமிடையே உள்ள ஆற்றல் மிகுதி $(E\alpha_0 - E\alpha_1) = 0{\cdot}04\ Mev$ யாகும். ஆகவே, $_{83}Bi^{212}$ என்ற தாய் அணுக்கரு ஒரு α_1-துகளை வீசிய பிறகு தோற்றுவிக்கும் $_{81}Te^{208}$ என்ற சேய்க்கரு தன் புவிமட்ட நிலையைவிட 0·04 *Mev* அதிக ஆற்றல் பெற்ற ஒரு மட்டத்தில் விடப்பட்டிருக்கிறது எனலாம். எனவே, இந்த சேய்க்கரு தன் புவிமட்ட நிலையையடைய 0·04 *Mev* மிகுதி ஆற்றலை காமாக் கதிராக வெளியேற்றுகிறது. இதுபோல் α_2, α_3 போன்ற துகள்கள் வெளியேறும் போதும் சேய்க்கரு பல, தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்களில் விடப்பட்டு காமாக் கதிர் வெளியேற்றம் மூலம் படிப்படியாகத் தன் புவிமட்ட ஆற்றல் நிலையையடைகிறது. இவ்வாறு α-துகள்கள் ஆற்றலுக்கும், காமாக்கதிர் ஆற்றலுக்குமிடையே உள்ள ஒப்புமையைக் கீழ்க்காணும் ஆற்றல் மட்டப் படம் (5·6) விளக்குகிறது.



படம் 5·6

ஆல்ஃபா ஆற்றல்மாலை-காமா ஆற்றல்மாலை, இவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பு

ஆற்றல் மட்டப் படத்தின்படி காமாக்கதிர் பதினைந்து வெவ்வேறு ஆற்றல்களைக் கொண்டிருக்குமெனக் காட்டுகிறதென்றாலும் உண்மையாக 8 வெவ்வேறு ஆற்றல்களையே வெளிப்படும் காமாக் கதிர்கள் கொண்டிருக்கின்றன. ஆற்றல் செறிவு மிகக் குறைவாக

வும், பதிவாக முடியாத நிலையிலிருப்பதும், ஆற்றல் நிலைகள் தேர்வு விதிகள் சிலவற்றின்படி தடுக்கப்படுவதும் இதற்குக் காரணமாகும்.

சில சமயங்களில் தாய்க்கருவே ஒரு கதிரியக்க முறையில் தோன்றியதாக இருக்கலாம். அப்பொழுது அதுவும் ஒரு கிளர்ச்சி மட்டத்திலிருக்க வாய்ப்புண்டு. அப்பொழுது தாய்க்கரு முதலில் காமாக் கதிர்வீச்சு மூலம் தன் புவிமட்ட நிலையை அடைந்து, பிறகு α அல்லது β-துகளைக் கதிரியக்க முறையில் வெளியேற்றி சேய்க்கரு வாக மாறலாம்; அல்லது கிளர்ச்சி மட்டத்திலிருந்த தாய்க்கரு அங்கிருந்தே ஒரு α அல்லது β-துகளை வெளிப்படுத்தி சேய்க்கருவாக மாறலாம். அப்பொழுது வெளிப்படுத்தப்பட்ட α அல்லது β-துகள் மிக அதிக ஆற்றல் பெற்றதாக அமையும். இதையே மிக அதிகச் செல்தொலைவு பெற்ற α அல்லது β-துகள்கள் (long range particles) என்கிறோம். $_{83}Bi^{212}$-லிருந்து வீசப்படும் α-துகள்கள் சில இத்தன்மையை யுடையவை என்று ரூதர்ஃபோர்டு எடுத்துக் காட்டினார்.

காமோவின் மேற்குறிப்பிட்ட கொள்கை காமாக் கதிர் α அல்லது β-துகள் வீசப்பட்ட பிறகு வீசப்படும் ஒன்றாகும் என்ற அடிப்படையைக் கொண்டது. அதாவது காமாக் கதிர் சேய்க் கருவினின்று வீசப்படுகின்றது என்று கொள்ளப்படுகிறது. இந்தக் கருத்தை ரூதர்ஃபோர்டு பின்வருமாறு ஒரு சோதனைமூலம் நிரு பித்தார். சில சமயங்களில் கதிரியக்க ஆற்றல் காமாக் கதிராக வெளியேறாமல், உள்ளிட ஆற்றல் பரிமாற்று எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலாக வெளிப்படுதலும் உண்டு. அதே சமயம், அந்தத் தனிமத்தின் சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள் வெளிப்படுவது இயற்கை என்றும் முன்பு அறிந்தோம். இந்தச் சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளம் என்ன என்றறிந்தோமானால், அந்த எக்ஸ்-கதிர் எந்தத் தனிமத்தின் (Z) சிறப்பியல்பைப் பெற்றிருக்கிறது என்பதை மாஸ்லி விதியைக் (Mosley's Law) கொண்டு சமன்பாடு (1·23) அறிதல் எளிது.

$$\sqrt{\nu} = a(Z-b) \qquad (5{\cdot}25)$$

a, b மாறிலிகள்

ν = சிறப்பு எக்ஸ்-கதிரின் அதிர்வெண்.

Z = தனிமத்தின் அணு எண்

சமன்பாடு (5.25)-ன்படி

$\nu \left(= \frac{c}{\lambda} \right)$ a மற்றும் b-ன் மதிப்புகளைக் கொண்டு Z-ன்

மதிப்பைக் காணலாம். Z-ன் மதிப்பு சேய்க்கரு அணுவின் மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது, தாய்க்கரு அணுவின் மதிப்பை அன்று என்று ரூதர்ஃபோர்டு நிரூபித்துக் காட்டினூர். மேலும், காமாக் கதிர்களும் உள்ளிட ஆற்றல் பரிமாற்று எலக்ட்ரான்களும் பண்பில் ஒத்தவையாதலால் காமாக் கதிர்கள் சேய் அணுக்கருவி லிருந்துதான் வெளியேறுகின்றன என்பது தெளிவு.

காமோவின் கொள்கையைக் கொண்டு, α, β-துகள்களை வெளியேற்றும் அணுக்கருக்கள் பலவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்களை γ-கதிர் ஆற்றலோடு ஒப்புநோக்கி அறிதல் எளிதாகிறது.

5.8 β-துகள்கள் தோன்றக் காரணம்

β-கதிர் ஓர் அணுவிலிருந்து வெளிப்பட்டால் அந்த அணுவின் நிறை மாற்றமடையாமல் அதன் அணு எண் (Z) ஓர் எண் கூடுத லடைகிறது என்று சாடியும் ரூதர்ஃபோர்டும் கண்டனர் என்பதை முன்னமேயே பார்த்தோம். எனவே, இந்தவகைக் கதிர்வீச்சு தாய் அணுக்கரு (Z; A) விலிருந்து வெளிப்படும் கதிரியக்க மென்பதும் சேய்க்கரு ($2+1$, A) ஒரு புதிய தனிமம் என்பதும் புலனுகிறது. β-வின் பண்புகள் எலக்ட்ரானின் பண்புகளை முழுவதும் ஒத்திருப்ப தால் β-துகள்களை அணுக் கருவிலிருந்து வெளிப்படும் எலக்ட்ரான் களே என்றும் முன்பு அறிந்தோம். அதாவது அணுக்கருவினுள் எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்பது இந்தக் கொள்கையில் பொதிந்து கிடக்கின்ற ஒரு கருத்தாகும்.

5.9 புரோட்டான்-எலக்ட்ரான் புனேகோள் (Proton-electron hypothesis for the structure of a nucleus)

அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களின் நிறை மிகக் குறைவாதலால், அணுவின் நிறை முழுவதும் அதன் கருவின் நிறையேயாகும். வெவ்வேறு நேர்மின் அயனிகளின் நிறைகளை ஆராய்ந்த பிறகு J. J. தாம்சன் மிகக் குறைந்த (மீச்சிறு) நிறையையுடைய நேர்மின் துகளின் நிறை ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையை ஒத்தது என்று கண்டார். இத் துகளே புரோட்டான் என்று பெயர் பெற்றது. ஆஸ்டன் (Aston) தன் நிறைமாலை வரைவியைக் கொண்டு எல்லாத் தனிமங்களின் நிறையையும் துல்லியமாகக் கண்டு, அவற்றின் நிறை புரோட்டான் நிறையை அடிப்படை அலகாகக் கொண்ட ஒரு முழு எண் மடங்காக (integral multiple of the proton mass) அமைவதைக் கண்டுபிடித்தார். எனவே, A நிறை எண் கொண்ட ஓர் அணுக்கரு தன்னகத்தே A புரோட்டான்களைக் கொண்டது என்பது புலனு கிறது. அப்பொழுதுதான் அணுவின் நிறை 'A' என்றுகும்.

ஆயினும், அணுவின் அணு எண் (2) அதன் நிறை எண்ணுக்குச் சமமன்று. காட்டாக ஹீலிய அணுவின் நிறை எண் நான்காகும்; அணு எண் இரண்டு ஆகும்.

எனவே, அதன் அணுக்கருவினுள் 4 புரோட்டான்களும் இரண்டு எலக்ட்ரான்களும் இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டது. இப்பொழுது நிறை எண் 4 என்றும் அணுக்கருவின் தொகுபயன் மின்னூட்டம் '2' அலகாகவும் (அதாவது அணு எண் $Z=2$) அமையும். பொதுவாக ஓர் அணுவின் நிறை எண் 'A' ஆகவும், அணு எண் 'Z' ஆகவும் இருந்தால் அதன் அணுக்கருவினுள் 'A' புரோட்டான்களும் '$(A-Z)$ எலக்ட்ரான்களும் இருக்கும் எனக் கருதப்பட்டது. எனவே, கதிரியக்க முறையில் α-துகள் வீசப் பட்டால் இது 'நான்கு புரோட்டான்களும் இரண்டு எலக்ட்ரான் களும் கூடிய ஒரு தொகுப்பு வெளியாகிறது' என்றும், β-துகள் வீசப்பட்டால் எலக்ட்ரான் ஒன்று அணுக்கருவினின்று வெளியேறு கிறது என்றும் இந்தப் புனைகோள்படி மிக எளிதான விளக்கம் கூறப்பட்டது.

5.10 புரோட்டான்-எலக்ட்ரான் தொகுப்புப் புனைகோளின் தோல்வி

பிற்காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அணுக்கருவின் சில பண்புகளுக்குப் புரோட்டான்-எலக்ட்ரான் தொகுப்புப் புனைகோள் உதவி கொண்டு விளக்கம் காணமுடியவில்லை. அவற்றில் மிக முக்கியமானவற்றைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

5.10·1 அணுவின் மீநுண் வரியமைப்பும் கருவின் கோண உந்தமும் (Hyper-fine structure of spectral lines and angular momentum of the nuclei)

சுற்றுப்பாதையில் பல எலக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணு ஒன் றில் முடிவு பெறாத கூடுகளிலுள்ள (incomplete shell) எலக்ட்ரான் களே தத்தமது ஆற்றல் நிலைகளிலிருந்த மற்றொன்றுக்குத் தேர்வு விதிகட்கு உட்பட்டுத் தாவும்போது நுண் அமைப்பு வரிகள் (fine structure lines) தோன்றுகின்றன என்பதை நாம் அணு இயற்பிய லில் அறிந்தோம். ஆயினும், அணு நிறமாலை இந்த நுண்ணமைப்பு வரிகள் தவிரச் சில மீநுண் அமைப்பு வரிகளையும் கொண்டவைக ளாக இருந்தன. இந்த வரிகள் தோன்றுவதன் காரணத்தை பௌலி (W. Pauli) என்ற ஜெர்மானிய மேதை ஒரு புதிய கருத்தை முன்வைத்து விளக்கினார். எலக்ட்ரான்கள் ஒரு தற்சுழற்சியைப் பெற்றிருப்பதைப் போலவே, அணுக்கருவும் ஒரு தற்சுழற்சியைப் பெற்றிருக்கிறது என்றார் அவர்.

இந்தக் கருத்து மிகச் சரியானதே என்று பிற்காலத்தில் சோதனைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டது. எந்த ஓர் அணுக்கருவும் $I\hbar$ கோண உந்தம் பெற்றிருக்கிறது.

இதில் $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ மேலும் சோதனைகளின்படி ஓர் அணுவின் நிறை எண் A, ஓர் இரட்டைப்படை எண்ணாக இருந்தால் I-ன் மதிப்புச் 'சுழி' அல்லது ஒரு முழு எண்ணாக இருக்கும் என்றும் அணுவின் நிறை எண் A, ஓர் ஒற்றைப்படை எண்ணாக இருந்தால் I-ன் மதிப்பு ஓர் அரை எண் மடங்காகவும் $\left[\frac{1}{2}\ (2n+1)\right]$ இருக்குமெனத் தெரியவந்தது (பகுதி 7.7).

இப்பொழுது நைட்ரஜன் அணுவை $({}_7N^{14})$ எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் அணு எண் ஏழு ஆதலால் இதன் அணுக்கரு $(14-7) = 7$ எலக்ட்ரான்களையும், 14 புரோட்டான்களையும் கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே, $14+7=21$ துகள்களைத் தன்னுள்ளே பெற்றிருத்தல் வேண்டும். புரோட்டான் எலக்ட்ரான் இவைகளின் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்கள் ஓர் அரை எண்ணாகும் $(S=\frac{1}{2})$. எனவே, எலக்ட்ரான்-புரோட்டான் புனைகோள்படி நைட்டிரஜன் அணுக்கருவினுள் உள்ள 21 துகள்களின் தொகுபயன் சுழற்சி எண் ஓர் அரை எண்ணாகத்தான் இருக்க முடியும். ஆயினும், சோதனைகளின் முடிவுப்படி நைட்ரஜன் அணுவின் நிறை எண் (A) ஓர் இரட்டைப்படை எண்ணாதலால் அதன் சுழற்சிக் குவான்டம் எண் I ஒரு முழு எண்ணாகவே உள்ளது. எனவே, அணுக்கரு சுழற்சிச் சோதனைகளின் முடிவு எலக்ட்ரான்-புரோட்டான் புனைகோளுக்கு ஆக்கம் தருவதாக இல்லை.

5.10·2 அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறனும் எலக்ட்ரான்-புரோட்டான் புனைகோளும்

ஓர் எலக்ட்ரானின் காந்தத் திருப்புதிறன் ஒரு போர்-மாக்னெட்டான் (Bohr Magneton)-μ_B எனப்படும்.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} \qquad (5{\cdot}26)$$

$$= 9{\cdot}27\times10^{-24}\ \mathrm{J.T^{-1}}\ (\text{ஆம்பியர்-மீட்டர்}^2)$$

$\frac{e}{m}$ ⟶ எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைதகவு.

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$;

ஓர் அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறனை (nuclear megneton μ_N) இதுபோலவே வரையறுக்கலாம்.

$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2\,M_p} = 5{\cdot}05 \times 10^{-27}\ \mathrm{J.T^{-1}} \qquad (5{\cdot}27)$$

$$\frac{e}{M_p} = \text{புரோட்டானின் மின்னூட்ட நிறைதகவு.}$$

μ_N என்பது ஓர் அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறனை மதிப்பிடும் ஓர் அடிப்படை அலகே தவிர புரோட்டானின் காந்தத் திருப்புதிறனன்று என்பதை நினைவில் கொள்ளுதல் அவசியம். ஒரு புரோட்டானின் காந்தத் திருப்புதிறன் $2.793\ \mu_N$ ஆகும்.

இப்பொழுது மீண்டும் $_7N^{14}$ என்ற நைட்ரஜன் அணுக்கருவை எடுத்துக்கொள்வோம். எலக்ட்ரான்-புரோட்டான் புனைகோள்படி இந்த அணுக்கருவினுள் 7 எலக்ட்ரான்கள் இருத்தல் வேண்டும். எனவே, இந்த எலக்ட்ரான்களால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்பு திறனின் மதிப்பு 10^{-24} $\mathrm{JT^{-1}}$ என்ற அளவில் அதாவது 'அணுக்கரு காந்தத் திருப்புதிறனை' விட கிட்டத்தட்ட 1000 மடங்கு அதிகம். இரண்டு எலக்ட்ரான்களின் காந்தத் திருப்புதிறன்கள் ஒன்றை யொன்று எதிர்த்துச் சமநிலையை அடையுமாறு எலக்ட்ரான்கள் அமைந்திருக்கின்றன என்று கொண்டாலும் நைட்ரஜன் அணுக் கருவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் எண்ணிக்கை இந்தப் புனைகோள்படி ஒற்றைப்படையாதலால் எஞ்சி நிற்கும் ஓர் எலக்ட்ரானால் ஏற் படும் காந்தத் திருப்புதிறன் 10^{-24} $\mathrm{JT^{-1}}$ அளவைக் கொண்டதா யிருக்கும். ஆயினும், எந்த ஓர் அணுக்கருவும் சோதனையின்படி அறிந்துகொண்டதில் 5×10^{-27} $\mathrm{JT^{-1}}$க்கு அதிகமான காந்தத் திருப்புதிறன் கொண்டதாக இல்லையாதலால், இதைவிட ஆயிரம் மடங்கு அதிகமாக காந்தத் திருப்புதிறனை அளிக்கக் கூடிய எலக்ட்ரான், அணுக்கருவினுள் இருக்க முடியாது எனக் கூறுவது மிகையாகாது.

5.10·3 பருப்பொருளின் அலைவிசையியல்பு கொள்கையும், புரோட் டான்-எலக்ட்ரான் புனைகோளும்

இயற்கைக் கதிரியக்கம் மூலம் வீசப்படும் β-துகள்களின் பெரும ஆற்றல் 4 Mev ஆகும். எனவே, சார்பியல் கொள்கையைக் கொண்டு (சமன்பாடு 1.6a) இந்த β-துகள்களின் உந்தத்தைக் காணலாம்,

$$E^2 = p^2c^2 + m_0{}^2c^4$$

$$\therefore \quad pc = \sqrt{E^2 - m_0{}^2c^4} \qquad (5\cdot28)$$

$$m_0c^2 = 0\cdot511 \; Mev.$$

$\therefore$ சமன்பாடு $(5\cdot28)$-ன்படி,

$$pc = 3\cdot95 \; Mev.$$

$$\therefore \; p = \frac{3\cdot95 \times 10^6 \text{ எலக்ட்ரான் வோல்ட்}}{3 \times 10^8 \text{ மீட்டர் செகண்டு}^{-1}}$$

$$1ev = 1\cdot602 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\therefore \; p = 2\cdot11 \times 10^{-21} \text{ கி.கிராம். மீட்டர் செகண்டு}^{-1}$$

இந்த உந்தத்தைக் கொண்ட எலக்ட்ரானின் அலைநீளம் அலை விசையியல் கொள்கைப்படி (பகுதி 1·7),

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6\cdot63 \times 10^{-34} \text{ J·S}}{2\cdot11 \times 10^{-21} \text{ கி.கிராம் மீட்டர் செகண்டு}^{-1}}$$

$$= 3\cdot14 \times 10^{-13} \text{ மீட்டர்}$$

இந்த அலைநீளம் அணுக்கருவின் விட்டத்தைவிட ஏறத்தாழ 100 மடங்கு அதிகமாகும். எனவே, பேராற்றல் பெற்ற எலக்ட்ரான்கூட அணுக்கருக்குள் தனித்தியங்க முடியாது என்பது தெளிவாகிறது.

5.11 புரோட்டான் - நியூட்ரான் புனைகோள் (Proton - Neutron Hypothesis)

எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவினுள் தனித்தியங்க முடியாதென்றால், β-துகள் வீச்சை விளக்குவது எங்ஙனம்? எலக்ட்ரானும் புரோட்டானும் இணைந்து மின்னூட்டமற்ற நடுநிலைத் துகள் ஒன்றை அணுக்கரு கொண்டிருப்பதாகக் கருதினால் மேற்குறிப்பிட்டவை போன்ற பல இடர்களைத் தவிர்க்க இயலும் என்று ரூதர்ஃபோர்டு குறிப்பிட்டார். இந்தப் புனைகோளின்படி ஒவ்வோர் அணுக் கருவும் புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான் என்று குறிப்பிடப்பட்ட இந்த நடுநிலைத் துகள்களையும் தன்னுள் கொண்டிருக்கிறது எனக் கொள்ளலாம். அதாவது A நிறை எண்ணும் Z அணு எண்ணும் உள்ள ஓர் அணுக்கரு Z புரோட்டான்களும் $(A-Z)$ நியூட்ரான்களும் கொண்டுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, ஹீலியம் அணுக்கருவில் 2 நியூட்ரான்களும் 2 புரோட்டான்களும் இருக்கின்றன எனக் கொள்வது முறை. நியூட்ரானின் நிறையும், புரோட்டானின் நிறையும் ஏறத்தாழ ஒன்றேயாதலால், ஒரு

கட்டற்ற நியூட்ரானின் அலைநீளம், அணுக்கருவின் விட்டத்தைவிட மிகமிகச் சிறியதாகும். மேலும் நியூட்ரானின் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்ணின் மதிப்பும் $\frac{1}{2}$ ஆகும். எனவே, இரட்டைப்படைத் துகள்கள் உள்ள அணுக்கருவின் தொகுபயன் சுழற்சி எண் 0 அல்லது முழு எண் ஆகும்.

முதலில் ஒரு புனைகோளாகத்தான் நியூட்ரான் கருதப் பட்டது. ஆயினும், உண்மையாகவே நியூட்ரான் என்ற நடு மின்னூட்டமுடைய துகள் ஒன்று சாட்விக் (Chadwich) என்பவரால் 1932ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதன் பண்புகள் ரூதர்ஃபோர்டு சுட்டிக் காட்டியபடி மின்னூட்டமற்றதாகவும், புரோட்டானின் நிறையைக் கொண்டதாகவும், $\frac{1}{2}$ சுழற்சிக் குவான்டம் எண் கொண்டதாகவும் இருக்கக் கண்டார். எனவே, நியூட்ரானை ஓர் எலக்ட்ரானும், ஒரு புரோட்டானும் இணைந்த ஒன்று என்று கருதாமல் அது புரோட்டானைப் போலவே ஓர் அடிப்படைத் துகள் என்று கொள்வது முறையாகும். புரோட்டானும், நியூட்ரானும் அணுக்கருவிலிருப்பதால் அவற்றைப் பொதுவாகக் கருத் துகள் (nucleor) எனக் கூறலாம். ஒரு கருத் துகள் நியூட்ரான் குவான்டம் நிலையிலிருந்து புரோட்டான் குவான்டம் நிலைக்குத் தாவும்போது ஒரு (β^-) எலக்ட்ரானை வெளியேற்றுகிறது எனக் கொள்வோம்.



$$ {}_0n^1 \rightarrow {}_1\mathrm{H}^1 + \beta^- \qquad (5\cdot29)$$

செயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் வீசப்படும் β^+ பாசிட்ரான் (positron) புரோட்டான் குவான்டம் நிலையிலுள்ள ஒரு கருத் துகள் நியூட்ரான் குவான்டம் நிலைக்குத் தாவுவதால் ஏற்படுவதேயாகும்.



$$ {}_1\mathrm{H}^1 \rightarrow {}_0n^1 + \beta^+ \qquad (5\cdot30)$$

α-துகள் என்பது இரு புரோட்டான்களும் இரு நியூட்ரான்களும் கொண்ட ஒரு கூட்டமைப்பு என்பது தெளிவு.

5.12 பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல்மாலை (β-ray Spectra)

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் வீசப்படும் β^- துகள்கள் எலக்ட்ரான்களே என்பதை யறிவோம். எனவே, இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஒரு கருத் துகள் நியூட்ரான் குவான்டம் நிலையிலிருந்து புரோட்டான் குவான்டம் நிலைக்கு மாறும்போது உருவாக்கப் பட்டு வீசப்படுவதாகும். இந்த எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை ஒரு காந்தப்படிவ ஆற்றல் வரைவியைக் கொண்டு அறியலாம். இந்த முறை ஏழத்தாழ α-துகள்களின் ஆற்றலை அறியும் முறையை

ஒத்ததாகும். ஆயினும் β-துகள்களின் நிறை மிகமிகக் குறை வாகையால், மிகக் குறைந்த காந்தப்புலமே போதுமானதாகிறது. காந்தப் புலத்தின் பாயம் B என்றால்,

$$Bev = \frac{mv^2}{R}$$

$$Be = \frac{mv}{R}$$

$$Be = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{v}{R}$$

$$\therefore \quad v = BR \frac{e}{m_0} \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (5\cdot31)$$

எனவே, வளைவு ஆரம் R மற்றும் (e/m_0) இவற்றின் மதிப்பை யறிவதன் மூலம் v-ன் மதிப்பைக் காண இயலும். மேலும் இந்த எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் T. (சமன்பாடு 1·5-ன்படி)

$$T = mc^2 - m_0c^2$$

$$= m_0c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

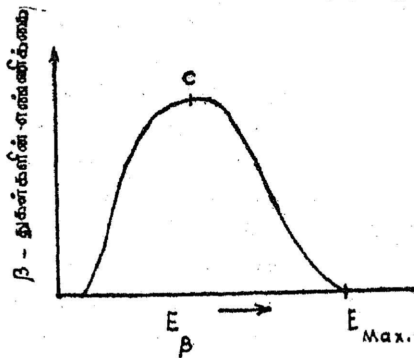
$$T = 0\cdot511 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] Mev \qquad (5\cdot33)$$

சமன்பாடு (5·33) ஐப் பயன்படுத்தி β-கதிர்களின் இயக்க ஆற்றலைக் காண்பது எளிது.

அவ்வாறு காணப்பட்ட β-துகள்களின் இயக்க ஆற்றலின் மாதிரிப் படம் ஒன்றை வரைபடம் (5·7)-ல் காணலாம்.

α-துகள்களின் ஆற்றல்மாலையைவிட β-துகள்களின் ஆற்றல் மாலை சிக்கல் மிகுந்ததாயிருப்பதைக் காணலாம். α-துகள்களின் ஆற்றல்மாலை குறிப்பிட்ட ஆற்றல் கொண்ட வரிமாலையாகத் தான் இருந்தது. ஆனால், β-கதிர்களின் ஆற்றல்மாலை ஒரு தொடர்மாலையாக இருக்கிறது. மேலும் (படம் 5·7)-ன் தோற்றம் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேகத்திற்கும் அந்த வேகத்தில் செல்லும் மூலக்கூறுகளின்

எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள தொடர்பைக் குறிக்கும் மாக்ஸ்வெல் பங்கீட்டுப் (Maxwell distribution) படத்தை ஒத்திருக்கிறது. அதாவது முதலில் சிறிது சிறிதாக வளர்ந்து ஒரு பெருமத்தை



படம் 5.7
பீட்டாக் கதிர்களின் ஆற்றல்மாலை

யடைந்து பின்பு ஒரு குறிப்பிட்ட உச்ச வரம்பெல்லை ஆற்றலில் (E_{max}) முடிவடைகிறது. இந்த ஆற்றல் β-துகளின் வரம்பெல்லை ஆற்றல் (end point energy) எனப்படும். இந்த வரம்பெல்லை ஆற்றல் வெவ்வேறு கதிரியக்கத் தனிமங்களிலிருந்து வீசப்படும் β-துகள்களுக்கு வெவ்வேறு மதிப்பையுடையதாகும். β-துகள் களின் கதிரியக்க ஆற்றல் ஒரு தொடர்மாலையாக இருப்பதும், குறிப்பிட்ட ஒரு வரம்பெல்லை பெற்றிருப்பதும் அணுக்கரு இயலில் ஒரு பெரிய இடர்ப்பாட்டைத் தோற்றுவித்தன. இந்தத் தொடர் மாலைப் பண்பினுல் ஏற்படும் முரண்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

(i) α, β, γ துகள்களும் குறிப்பிட்ட சில ஆற்றலோடு வீசப் படுவதால், அணுக்கரு ஆற்றல் மட்டங்கள் பல கொண்டுள்ளது என்ற முடிவுக்கு வந்தோம். ஆயினும், வீசப்படும் β-துகள்களின் ஆற்றல் ஒரு தொடர்மாலையாக இருப்பதால் அணுக்கரு ஒரு தொடர் ஆற்றல் நிலையைக் கொண்டது என்கிற முரணுன முடிவுக்கு வரநேரிடுகிறது.

(ii) ஓர் அணுக்கரு தன் நியூட்ரான் குவான்டம் நிலையிலிருந்து புரோட்டான் குவான்டம் நிலைக்குத் தாவுவதால் β-துகள்கள் வீசப்படுவதைக் கண்டோம். எனவே, β-துகள்களின் ஆற்றல் இந்த இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறு பாடாகத்தான் இருக்க முடியும். நியூட்ரான்களும் புரோட்டான் களும், குறிப்பிட்ட ஆற்றல் நிலைகளில் அணுக்கருவுக்குள் இருந்தால் வீசப்படும் β-துகள்களின் ஆற்றலும் ஆற்றல் அழி

வின்மைக் கொள்கைப்படி ஒரு குறிப்பிட்ட சிறப்பு ஆற்றல் மாலையாகத்தான் இருக்க முடியும். உண்மையில் β-துகள்களின் ஆற்றல் ஒரு தொடர்மாலையாக இருப்பதால் 'ஆற்றல் அழி வின்மைக் கொள்கை' β-கதிரியக்கத்திற்கு மட்டும் பொருந் தாமல் போய்விடுமா?

(iii) புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும், $\frac{1}{2}\hbar$ சுழற்சிக் கோண உந்தம் பெற்றிருக்கின்றன. β-துகள்களும் எலக்ட் ரான்களேயாதலால் அவையும் $\frac{1}{2}\hbar$ சுழற்சிக் கோண உந்தமே பெற்றிருக்கின்றன. ஓர் அணுக்கருவினுள் ஒற்றைப்படைக் கருத் துகள்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது அந்த அணுக்கருவின் தொகுபயன் கோண உந்தமும் $(2n + 1)\ \frac{1}{2}\hbar$ தான் இருக்க முடியும். இந்த அணுக்கருவிலிருந்து ஓர் எலக்ட் ரான் வீசப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த எலக்ட்ரானும், $\frac{1}{2}\hbar$ கோண உந்தம் கொண்டதாயிருக்கிறது. அணுக்கருவின் எஞ்சியுள்ள துகள்கள் இப்போதும் ஒற்றைப்படை எண்ணிக்கை தான். (ஏனெனில், ஒரு நியூட்ரான், புரோட்டான் நிலைக்குத் தாவியுள்ளது.) எனவே, அதன் தொகுபயன் கோண உந்தமும், $(2n + 1)\ \frac{1}{2}\hbar$ தான் இருக்க முடியும். அதாவது எஞ்சியுள்ள அணுக்கருவின் கோண உந்தமும் முன்புள்ளதுபோல மாறாமலிருக் கிறது. ஆயினும் $\frac{1}{2}\hbar$ கோண உந்தமுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் வெளியேறியுள்ளது. இது கோண உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைக்கு முரணாக உள்ளது.

(iv) கோண உந்தம் $\frac{1}{2}\hbar$ கொண்ட துகள்கள் ஃபெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் (Fermi-Dirac Statistics) இயல்பைக் கொண்டதாகவும், கோண உந்தம் $\hbar$-ன் முழு எண் மடங்கு கொண்ட துகள்கள் போஸ்-ஐன்ஸ்டீன் புள்ளியியல் (Bose-Einstein Statistics) இயல் பைக் கொண்டதாகவும் இருப்பதை அறிஞர்கள் கண்டுள்ளார்கள். ஒற்றைப்படை அணுக்கருத் துகள் கொண்ட ஓர் அணுக்கரு ஃபெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் இயல்பைக் கொண்ட ஓர் எலக்ட்ரான் வெளியேறிய பிறகும் பெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் இயல்பைக் கொண்டிருக்கிறது. ஏனெனில், சேய்க்கரு மீண்டும் ஒற்றைப்படை அணுக்கருத் துகளையே பெற்றிருக்கின்றது. இது புள்ளியியல் இயல்பு அழிவின்மைக் (Conservation of Statistics) கொள்கைக்கு முரணாக உள்ளது.

5.13 பௌலியின் நியூட்ரினோ புனைகோள் (Pauli's Newtrino Principle)

கதிரியக்க β-துகள்களின் தொடர் ஆற்றல்மாலை போன்ற முரண்பாடுகளைப் பலவித கொள்கைகளைக்கொண்டு விளக்க

முயற்சி செய்யப்பட்டது. ஆயினும், எல்லோரும் ஒருமிக்க விரும்பி ஏற்கக்கூடிய புதிய கருத்தொன்றை பௌலி முன்மொழிந்தார். இவர் நியூட்ரினோ (Newtrino) என்ற புதிய துகள் ஒன்று இருப்பதாக ஒரு புனைகோளைக் கற்பித்தார். இந்தத் துகள் β-துகள் வீசப்படும்போது கதிரியக்க ஆற்றலைப் பகிர்ந்துகொள்ளும் வண்ணம் β-துகளுடன்சேர்ந்து வீசப்படும் மற்றொரு துகளாகும் என்றார். எனவே, β-ஆற்றல்மாலையின் வரம்பெல்லை ஆற்றல் நியூட்ரினோ துகள் இயக்க ஆற்றலைப் பெறாத நிலையாகும். β-துகளின் ஆற்றல் மாலையில் சிறும ஆற்றல், நியூட்ரினோ துகள் முழுஇயக்க ஆற்றலைப் பெற்ற நிலையாகும். மேலும் β-துகள்கள் அதிக எண்ணிக்கையைக் கொண்ட ஆற்றல் (படம் 5.7-ல் C என்ற புள்ளி) நியூட்ரினோ துகளோடு β-துகள் சமமாக இயக்க ஆற்றலைப் பகிர்ந்துகொண்டதால் ஏற்பட்டதாகும்.

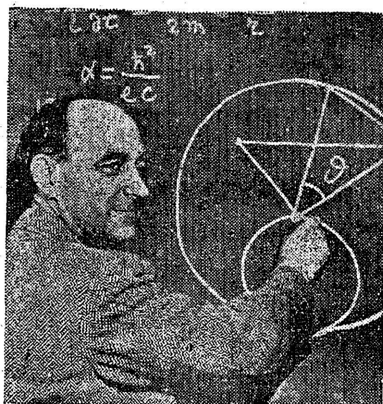
β-துகள்கள் வீசப்படும் விளைவில் நிறையும் மின்னூட்டமும் சரியீடுற்று இருப்பதால், நியூட்ரினோவின் ஓய்வு நிறையும் மின்னூட்டமும் 'சுழியாகும்'(zero) எனக் கொள்ளத்தக்கது. மேலும் β-துகள் கதிரியக்கம் 'இயற்பியல் அழிவின்மைக் கொள்கைகளுக்கு (Conservation Laws in Physics)' முரணாக அமையாத வண்ணம் நியூட்ரினோவின் பண்பு அமைந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம் என்றார் அவர். காட்டாக, நியூட்ரினோவின் கோண உந்தம் $\frac{1}{2}\hbar$. அது ஃபெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் இயல்பைப் பெற்றிருக்கிறது என்றும் கொள்ளலாம். எனவே, (i) β-துகளும் நியூட்ரினோவும் இயக்க ஆற்றலைப் பகிர்ந்துகொள்வதால் கதிரியக்க ஆற்றல் ஒரு மாறிலியாக இருந்தாலும் β-துகள்கள் நியூட்ரினோவுடன் பகிர்ந்துகொள்ளும் இயக்க ஆற்றல் ஒரு தொடர்மாலையாக இருக்க முடியும். (ii) β-கதிரியக்கத்தில் $\frac{1}{2}\hbar$ சுழற்சிக் கோண உந்தம் உள்ள இரு துகள்கள் வீசப்படுவதால் சேய்க் கருவின் கோண உந்தத்தின் மதிப்பு $\left(\frac{1}{2}\hbar + \frac{1}{2}\hbar\right)$ அளவே மாறும். இது உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைக்கு ஆக்கம் தருவதே. (iii) ஃபெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் பண்பைக் கொண்ட இரு துகள்கள் β-கதிரியக்கத்தில் வெளியேறுவதால் இந்த அழிவின்மைக் கொள்கையும் கடைப்பிடிக்கப்படுகிறது.

ஒரு ஃபோட்டானைப் போன்று நியூட்ரினோவும் மின்னூட்டமற்றதாகவும், ஓய்வுநிலை நிறை சுழியாகவும் இருந்தாலும் நியூட்ரினோ ஃபோட்டானைப் போன்று மின்காந்தப் பண்பைப் பெற்றதன்று. எனவே, ஃபோட்டான்களைக் கண்டறிவதுபோல மின்காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல் பண்பைக் கொண்டு நியூட்ரினோவை உணர வழியில்லை. எனவே, நியூட்ரினோவைக் கண்டுணர்தல்

மிகமிக அரிது. ஏனெனில், அது எந்தப் பருப்பொருளுடனும் மோதி செயலெதிர்ச் செயலை உண்டாக்கும் தன்மையற்றது. எனினும், β-துகள்கள் செல்லும் திசையும், கதிரியக்கச் சேய்க்கரு எதிர்வினை வால் பின்னோக்கிச் செல்லும் திசையும் 180° கோணம் இல்லாம லிருந்தாலே, உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி மற்றொரு துகள் வெளிப்பட்டிருக்கிறது என்று பொருள் கொள்ள முடியும். இதுபோன்ற துணை வழிகளின் மூலம்தான் நியூட்ரினோ இருப் பதைக் காண முடியும். நியூட்ரினோவுக்குத் தரப்பட்ட பண்புகளைக் கொண்டு அழிவின்மைக் கொள்கைகளுக்கு முரண்படாமல், β-துகள்களின் கதிரியக்கத்திற்கு விளக்கம் காணுதல் எளிதாகிறது.

5.14 β-கதிரியக்கமும் ஃபெர்மியின் குவான்டம் கொள்கை விளக்கமும் (Fermi's theory of β-decay)

பௌலியின் நியூட்ரினோ புனைகோளைப் பயன்படுத்தி, β-கதிரியக் கத்திற்கு ஃபெர்மி என்ற இத்தாலிநாட்டுப் பேரறிஞர் குவான்டம் கொள்கையைக் கொண்டு மிகப் பொருத்தமான விளக்கம் ஒன்றை அளித்தார்.



என்ரிக்கோ ஃபெர்மி

ஓர் அணுக்கருவினுள் நியூட்ரான் நிலையிலுள்ள ஒரு கருத் துகள் புரோட்டான் நிலைக்குத் தாவும்போது β-துகளொன்றும் நியூட்ரினோ துகள் ஒன்றும் [உண்மையில் சில கதிரியக்க விதிகளின் படி இதை எதிர்-நியூட்ரினோ (Anti-Newtrino) என்று சொல்வது முறை எனினும் இவ்விரண்டு துகள்களின் பண்பும் ஒன்றேயாத லால் நாம் நியூட்ரினோ என்றே குறிப்பிடுவோம்] வீசப்படுகின்றன.



$$ {}_0n^1 \longrightarrow {}_1H^1 + \beta^- + \bar{\nu} \qquad (5.34)$$

இதுபோலவே புரோட்டான் நிலையிலுள்ள ஒரு கருத் துகள் நியூட்ரான் நிலைக்குத் தாவும்போது (செயற்கைக் கதிரியக்கம்) β^+ துகளொன்றும் (positron) நியூட்ரினோ துகளொன்றும் வீசப்படு கின்றன.

$${}_1H^1 \longrightarrow {}_0n^1 + \beta^+ + \nu \qquad (5.35)$$

β-கதிரியக்க விளைவைக் குவான்டம் கொள்கையின் 'காலம் சார்ந்த சிற்றுலைவு' (Time-dependent perturbation) முறையைக் கொண்டு ஃபெர்மி விளக்கினார்.

β-துகள்கள் ஒரு நொடியில் p-க்கும் $(p+dp)$-க்கும் இடையே ஓர் உந்தத்தில் ஒரு கதிரியக்கக் கருவிலிருந்து வீசப்படும் நிகழ் திறனை (probability) ஃபெர்மி பின்கண்டவாறு கணக்கிட்டார்.

$$I(p) \cdot dp = \frac{g^2 \cdot | M^2 | \cdot F(2, p)}{2 \pi^3 c^3 \hbar^7} \left[E_{max} - E_\beta\right]^2 \cdot p^2\, dp \qquad (5.36)$$

E_{max} — β-துகள்களின் பெரும இயக்கநிலை ஆற்றல்

$$E_{max} = T_{max} + m_0 c^2 \qquad (5 \cdot 37)$$

T_{max} — β-துகள்களின் பெரும இயக்க ஆற்றல்

$m_0 c^2$ — p-உந்தம் கொண்ட β-துகள்களின் ஆற்றல்

g — ஃபெர்மியின் மாறிலி

$$| M | = \left| \int \psi_i \psi_f \cdot dT \right| \qquad (5 \cdot 38)$$

$| M |$ என்பது கதிரியக்க அணுக்கரு, β-துகள்கள் வீசுவதற்கு முன்பும், வீசிய பின்பும் இருக்கின்ற குவான்டம் நிலையைக் குறிக் கின்ற மாட்ரிக்ஸ் எனப்படும்.

$F(Z, p)$ என்பது, கதிரியக்க அணுக்கருவின் அணு எண்ணை யும், β-துகள்களின் உந்தத்தையும் சார்ந்ததாகும்.

5.15 ஃபெர்மி-கியூரி வரைபடம் (Fermi-Curie Plot)

ஃபெர்மியின் கொள்கையைச் சரிபார்க்கச் சோதனை முறை களின்படி ஃபெர்மி-கியூரி வரைபடம் ஒன்று வரையலாம்.

சமன்பாடு $(5 \cdot 36)$-ன்படி

$$\left[\frac{I(p)}{F(2, p)\, p^2}\right]^{\frac{1}{2}} = k \cdot \left(E_{max} - E_\beta\right) \qquad (5 \cdot 39)$$

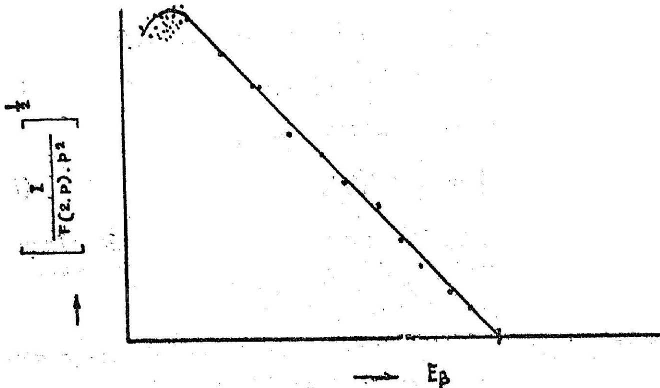
$$\text{இதில்} \quad k^2 = \frac{g^2 \; | M |^2}{2\pi^3 \; c^3 \hbar^7}$$

எனவே, ஃபெர்மியின் கொள்கைப்படி,

$$\left(\frac{I\,(p)}{F\,(Z,\,p)\;p^2}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ க்கும்}$$

E_β-க்குமிடையே வரையப்பட்ட வரைபடம் ஒரு நேர்கோடாகத் தான் இருக்கமுடியும். இதில் $I\,(p)$ என்பது செய்முறைச் சோதனைகளின்படி கண்டுகொண்ட, p உந்தமுள்ள β-துகள்களின் எண்ணிக்கையாகும். இவற்றின் இயக்க ஆற்றல் E_β வையும் செய்முறைச் சோதனை மூலம் கண்டறியலாம்.

எனவே, செய்முறைச் சோதனைகளின்படி, $\left(\frac{I}{F\,(Z,p)\;\;p^2}\right)^{\frac{1}{2}}$-க்கும் E_β-க்கும் வரைபடம் வரைதல் எளிது. எனவே, ஃபெர்மியின் கொள்கையைச் சரிபார்த்தல் எளிது. இவ்வாறு வரையப்பட்ட ஒரு ஃபெர்மி-கியூரி வரைபடத்தைக் காணலாம் (படம் 5.8).



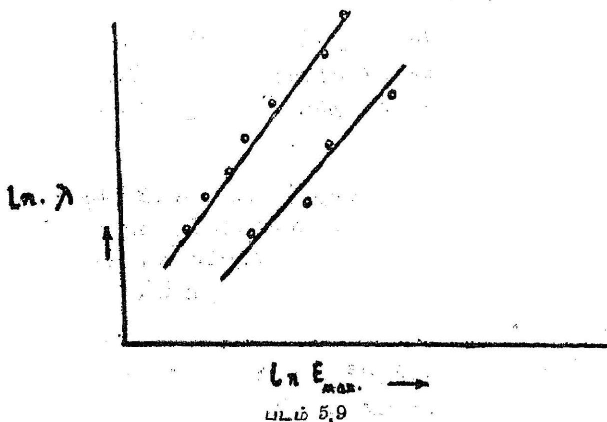
படம் 5.8

ஃபெர்மி-கியூரி வரைபடம்

5.16 சார்ஜன்ட் வரைபடங்கள் (Sargent Curves)

1933ஆம் ஆண்டு சார்ஜன்ட் என்ற விஞ்ஞானி ஓர் கதிரியக்கத் தனிமத்திலிருந்து வீசப்படும் β-துகள்களின் சிதைவு எண் (λ) மற்றும் அதன் பெரும ஆற்றல் (E_{max}) இவை இரண்டிற்குமிடையேயுள்ள தொடர்பைக் கண்டுபிடித்தார். இயற்கைக்

கதிரியக்க β-துகள்களின் λ, மற்றும் E_{max} இவற்றிலிருந்து $ln\,\lambda$-க்கும் $ln\ E_{max}$-க்குமிடையே ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது இரு நேர் கோடுகளைக் கொண்டதாக இருக்கின்றது என்பதை உணர்த்தினர் அவர் (படம் 5·9).



படம் 5.9

சார்ஜன்ட் வரைபடம்

இந்த வரைபடத்தில் மேற்புறமாக உள்ள நேர்கோடு λ மதிப்பு அதிகமாகக் கொண்டிருக்கும். எனவே, இதை முறையான கதிர் வீச்சு (Allowed Transition) என்று கூறுவர். λ மதிப்புக் குறைவாக உள்ள மற்றொரு நேர்கோடு தேர்வு விதிகளின்படி தடுக்கப்பட்ட கதிர்வீச்சு (Forbidden Transition) எனக் கூறுவர். இவ்விரண்டு நேர்கோட்டின் வாட்டங்களும் கிட்டத்தட்ட ஐந்தாகும்.

$$\frac{\log \lambda}{\log E_{max}} = 5$$

ஃபெர்மியின் கொள்கை, சார்ஜன்ட் வரைபடத்தை எளிதாக விளக்குகிறது. சமன்பாடு (5·36)-ன்படி ஒரு β-துகள் p-யிலிருந்து $(p + dp)$-க்குள் உந்தமுடையதாக வெளியேற்றப்படும் நிகழ் திறனைக் குறிக்கிறது என்று கண்டோம். எனவே, எல்லா உந்தங் களுடனும் வெளியேறும் β-துகளின் எண்ணிக்கை சமன்பாடு (5·36)-ன் தொகு ஆக்கமாகும். ஆகவே, இந்தத் தொகு ஆக்கம் β-துகள்களின் சிதைவு எண் $\lambda \left(= \frac{1}{T} \right)$-யைக் குறிக்கும்.

சமன்பாடு (5-36)ஐத் தொகு ஆக்கம் செய்ய அதன் மதிப்பு E_{max} 5-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

$$\therefore \lambda \propto (E_{max})^5 \quad (5\cdot40)$$

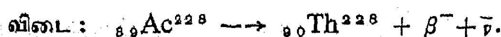
$$ln\,\lambda = ln\,A + 5\,ln\,E_{max} \quad (5\cdot41)$$

A—மாறிலி.

எனவே, $ln\,\lambda$-க்கும் $ln\,E_{max}$-க்குமிடையே வரைந்த நேர் கோட்டின் வாட்டத்தின் மதிப்பு ஐந்தாக இருக்கிறது. செயற்கைக் கதிரியக்கத் தனிமங்களும் λ-க்கும், E_{max}-க்கும் உள்ள தொடர்பை உறுதிப்படுத்துகின்றன.

செய்முறைச் சோதனைகளைத் தெளிவாக விளக்கும் காரணம் ஒன்றே ஃபெர்மியின் கொள்கை சரியானதொன்று என்பதையும் பௌலியின் புனைகோள் துகளான நியூட்ரினோ உண்மையில் ஓர் அடிப்படைத் துகள் (fundamental particle) என்பதையும் புலனுக்குகிறது.

பயிற்சி 1 : ஒரு $_{89}Ac^{228}$ அணுக்கரு $1\cdot55\ Mev$ வரம்பெல்லை ஆற்றலுடைய β-துகள்களை வீசுகிறது என்றால் சேய்க்கருவின் நிறை என்ன ? (Ac^{228}-ன் நிறை $228\cdot031080\ a.m.v.$)



விடை : $_{89}Ac^{228} \longrightarrow {}_{90}Th^{228} + \beta^- + \bar{\nu}$.

β-ன் பெரும ஆற்றல் $1\cdot55\ Mev$ ஆகும். எனவே, நிறை ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி,

$$228\cdot031080 = x + 1\cdot55\ Mev$$

$$\therefore \quad 1 a.m.v. = 931\cdot4\ Mev$$

$$1\cdot5\ Mev = 0\cdot00161\ a.m.v.$$

$$x = 228\cdot02947\ a.m.v.$$

பயிற்சி 2 : $_{82}Pb^{210} \longrightarrow {}_{83}Bi^{210} + \beta^- + \bar{\nu}$ என்ற இந்த வினையில் β-ன் வரம்பெல்லை ஆற்றல் $18\ Kev$ என்றால் இத்துடன் வெளிவீகம் γ-கதிரின் ஆற்றலைக் காண்.

Pb^{210}-ன் நிறை $209\cdot984187\ a.m.v.$

Bi^{210}-ன் நிறை $209\cdot984121\ a.m.v.$

விடை : ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி β-ன் பெரும ஆற்றல் $(209\cdot984187 - 209.984121)\ a.m.v.$ அதாவது $66 \times 10^{-6}\ a.m.v.$ ($65\ Kev$) இருக்க வேண்டும். β-ன் வரம்

பெல்லை ஆற்றல் 18 *Kev* தான் என்றால் $_{83}Bi^{210}$ சேய்க்கரு தன் கிளர்ச்சி மட்டங்கள் ஒன்றில் விடப்படுகிறது. இந்தக் கிளர்ச்சி மட்டத்தின் ஆற்றல் 47 *Kev* புவிமட்டத்தைவிட அதிகம். எனவே, இப்பொழுது தன் புவிமட்டத்தையுடைய $_{83}Bi^{210}$, 47 *Kev* ஆற்றல் கொண்ட காமாக் கதிரை வீசும்.

வினாக்கள்

1. α-துகள் சிதறல் ஆய்வுகளின் மூலம் ஓர் அணுக்கருவின் ஆரத்தை எவ்வாறறியலாம்?
2. காமாக் கதிர்களின் ஆற்றலை, வெவ்வேறு ஆற்றல் பகுதிகளில் காண்பதெவ்வாறு?
3. α-துகள் ஆற்றல்மாலை, காமாக்கதிர் ஆற்றல்மாலை இவையிரண்டினின்றும், ஓர் அணுக்கருவின் ஆற்றல் மட்டங்களையறிவது எவ்வாறு என்பதை விளக்கவும்.
4. ஓர் 2 *Mev* எலக்ட்ரான் அணுக்கருவினுள் இருக்க முடியுமா? விளக்கம் கூறவும்.
5. பீட்டாத்துகள்கள் ஆற்றல்மாலை தோற்று முரண்பாடுகள் யாவை? அவை எங்ஙனம் நீங்கப்பெற்றன?
6. β-கதிரியக்கத்திற்கு ஃபெர்மியின் குவான்டம் கொள்கை விளக்கத்தை எடுத்துரைக்கவும்.
7. சிறு குறிப்பு வரைக:
   (a) புரோட்டான்-நியூட்ரான் புனைகொள்கை.
   (b) பௌலியின் நியூட்ரினோ
   (c) இரட்டைத் துகள் ஆக்கம்
   (d) சார்ஜன்ட் வரைபடங்கள்
   (e) அணுக்கரு மின்னழுத்த அரண்
8. ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்திலிருந்து வெளிவரும் β^-துகள்களின் வரம்பெல்லை ஆற்றல் 1·35 *Mev* என்றால் 1 *Mev* ஆற்றல் கொண்ட β^-துகள்களுடன் வெளி வீசப்படும் நியூட்ரினோக்களின் உந்தம் என்ன?
9. $_{90}Th^{231}$ அணுக்கரு 0·21 *Mev* வரம்பெல்லை ஆற்றல் கொண்ட β^-துகள்களை வீசினால் புவிநிலையிலுள்ள சேய்க் கருவின் நிறை என்ன? ($_{90}Th^{231}$-ன் நிறை = 231·036291 *a.m.u.*)

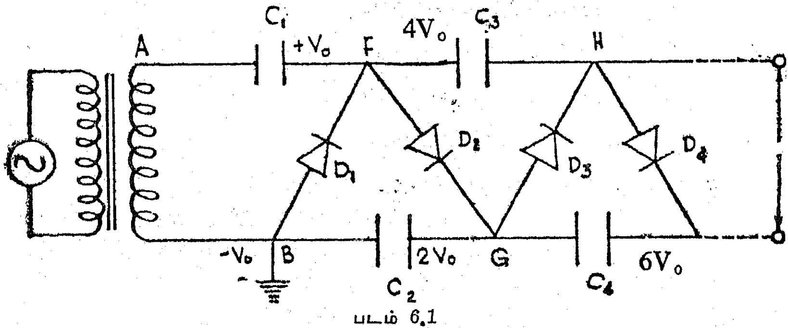
6. துகள் முடுக்கும் பொறிகள்

6.1 முன்னுரை

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தின் வாயிலாக நமக்குக் கிடைக்கும் பெரும ஆற்றல் 10 Mev தான். அணுக்கருவின் இயல்பையும், அவற்றின் செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மைகளையும் நுட்பமாக ஆராய, மிகுந்த ஆற்றல் கொண்ட துகள்கள், ஒரு பாயமாகத் தேவைப்படுகின்றன. தனிம மாற்றங்களைச் செயற்கையாகச் செய்து முடிக்க, மிக ஆற்றல் பெற்ற துகள்கள் தேவைப்படுகின்றன. எனவே, இயற்பியல் துறையில் துகள் முடுக்கும் பொறிகள், இன்றியமையாதவைகளாகப் போய்விட்டன. துகள் முடுக்கும் பொறிகளைப்பற்றிச் சிறப்பாக இங்குக் காண்போம்.

6.2 காக்ராஃப்ட்-வால்டன் பொறி

அணுக்கரு மாற்றங்களை உருவாக்கப் பயன்படுத்தப்பட்ட முதல் பொறி இதுவாகும். துகள்களை நிலை மின்னழுத்த மூலம் முடுக்கும் முறை இது. செயல்படும் முறையைப் படம் 6.1 விளக்குகிறது.



படம் 6.1

காக்ராஃப்ட் - வால்டன் பொறி செயல்படும் விதம்

மாறு மின்னோட்டம் தோற்றுவிக்கும் மின்மாற்றி ஒன்றினால் முதலில் மின்னோட்டம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

படம் (6.1)-ல் ABF ஓர் அரை அலைதிருத்தி (half-wave rectifier) யாகும். முதல் அரை அலைவு நேரத்தில், B, F-ஐவிட மின்னழுத்தம் அதிகமான இடமென்றால் டையோடு D_1 வழியாக மின்னோட்டம் பாயும். C_1 என்ற மின் ஏற்பி V_0 என்ற மாறு மின்னோட்டத்தின் பெரும மின் அழுத்த மதிப்பிற்கு மின்னூட்டம் பெறும். அடுத்த அரை அலைவு நேரத்தில் B_1 எதிர் மின்னழுத்த மட்டத்தில் $(-V_0)$ இருப்பதால், D_1 மின்சாரத்தைக் கடத்தாது. எனினும், இப்பொழுது டையோடு D_2 மின் கடத்தும். மேலும், மின் ஏற்பி C_1 மின்னூட்டம் பெற்று V_0 மின்னழுத்தம் பெற்றிருப்பதால், C_1, D_2 வழியாக மின்னிறக்கம் செய்யும். இதனால் மின் ஏற்பி C_2 மின்ஏற்றம் பெறும். எனவே, F என்ற இடம் $+V_0$ மின்னழுத்தத்தையும், Bஎன்ற இடம் $-V_0$ மின்னழுத்தத்தையும் பெற்றிருக்கும். எனவே, இவ்விரு இடத்திற்கிடையே உள்ள மின் அழுத்த வேறுபாடு $2V_0$ என்றாகிறது. எனவே, C_2 என்ற மின் ஏற்பியின் இரு மின்னோடுகளுக்குமிடையே $2V_0$ என்ற மின்னழுத்த வேறுபாடு செயல்படுகிறது. மேலும், G என்ற இடம் நில இணைப்புற்ற Bயை விட $+2V_0$ அதிக மின்னழுத்தத்தில் உள்ளது. அடுத்த அரை அலைவு நேரத்தில் B மீண்டும் நேர்மின் நிலையையடைகிறது. இதனால், D_1, D_3 இரண்டும் மின் கடத்தும். C_2-ன் $2V_0$ மின்னூட்டம் இப்பொழுது D_3 வழியாக C_3-ஐ மின்னூட்டமடையச் செய்கிறது. எனவே, F, H இரு இடங்களுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு $2V_0$. B, F-க்கு மிடையேயும் மின்னழுத்த வேறுபாடு $2V_0$. ஆகவே, B-க்கும் H-க்குமிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு $4V_0$. எனவே, C_3 இப்பொழுது $+4V_0$ மின்னூட்டத்தைப் பெறுகிறது. பொதுவாக, (C-க்குப் பிறகு), n எண்ணிக்கை மின் ஏற்பிகள் இருந்தால், கடைசி மின் ஏற்பியில் ஏற்படும் மின்னழுத்தம் $2nV_0$ ஆகும். V_0, மின் மாற்றியிலிருந்து கிடைக்கும் பெரும மின்னழுத்தம். எனவே, இம் முறைப்படி, டையோடுகளையும் மின் ஏற்பிகளையும் கொண்ட இந்த வரிசையை



ஜான் காக்ராப்ட்

அதிகரித்துக்கொண்டு போவதன்மூலம், மேலும் மின்னழுத்தம் பெறலாம் என்ருகிறது. எனினும், செயல்முறையில் இந்த மின்னழுத்தத்தைத் தாங்கும் வகையில் மின்காப்பு அமைப்பது கடினமாகையால், 700 Kev வரைதான், காக்ராஃப்ட், வால்டன் என்ற இரு விஞ்ஞானிகளாலும் இப்பொறியிலிருந்து உயர் மின்னழுத்தம் பெறப்பட்டது. தற்போது 2 Mev வரை மின்னழுத்தம் பெறக்கூடிய விதத்தில் இந்தவகைப் பொறிகளில் பல திருத்தங்கள் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன.

6.3 வான் டி கிராஃப் இயற்றி (Van de Graff Generator)

வான் டி கிராஃப் இயற்றி செயல்படும் தத்துவம் மிக எளியது. $+Q$ என்ற மின்னூட்டம் r ஆரமுடைய ஓர் உள்ளீடற்றகோளகத்தி லேற்றினல், அதன் பரப்பின்மேல் உள்ள நிலைமின் ஆற்றல்,

$$\left(\frac{+Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \right)$$ ஆகும்.

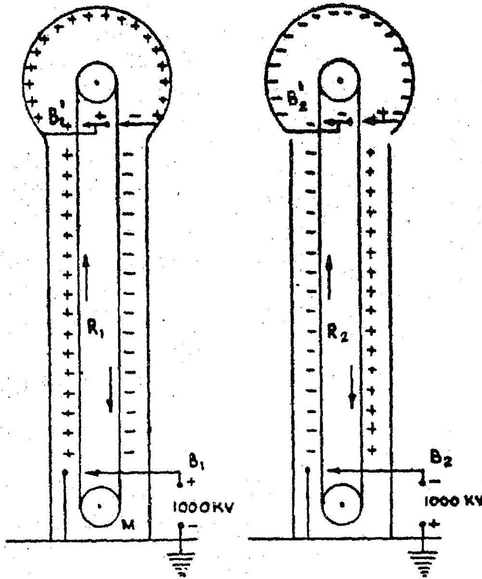
இப்பொழுது $+\triangle Q$ மின்னூட்டத்தை ஒரு மின் காப்புடைய ஊர்தி வழியாக, இந்த உள்ளீடற்ற கோளகத்தினுள் செலுத்தி கோளகப் பரப்பிற்கும், இந்த ஊர்திக்குமிடையே மின் தொடர்பு ஏற்படுத்தினல் ஊர்தியிலிருந்து கோளகப் பரப்பிற்கு ஒரு மின்னோட்டம் ஏற்பட்டு, பரப்பின்மீது உள்ள நிலைமின் ஆற்றல்

$$\frac{Q+\triangle Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

எனவாகிறது. ஆகவே, கோளகப் பரப்பின் நிலைமின் ஆற்றல் அதிகரிக்கப்படுகிறது.

படம் 6.2 ஒரு வான் டி கிராஃப் இயற்றி செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது. தொடர் பட்டுப் பட்டை ஒன்று, M என்ற இயந்திரக் கப்பிகளால் தொடர்ந்து நகர்த்தப்படுகிறது. 10 KV நேர் மின்னழுத்தக் கருவியினின்று B_1 என்ற ஓர் உலோகச் சீப்பு, நேர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்று, பட்டுப்பட்டையில் தெளிக்கின்றது. தெளிக்கப்பட்ட இந்த மின்னூட்டமானது, பட்டையின் உதவியால் உயரத்திலுள்ள பெரிய கோளத்தினுள் கடத்தப்படுகிறது. B_1^1 என்ற மற்ருேர் உலோகச் சீப்பு, இந்த மின்னூட்டத்தைக் கோளத்தில் ஏற்றுகிறது. மின்னூட்டத்தைத் தம்மிடமிருந்து இழந்த பட்டை மீண்டும் சுழன்று B_2 விஞல் மின்னூட்டம் பெறும். இவ்வாறு, மின்னூட்டம் சிறிது சிறிதாக $(+\triangle Q)$ கோளத்தில் ஏற்றப்படுவதால், கோளப்பரப்பு ஒரு நேர்

நிலேமின் ஆற்றல் பெறும். இதைப்போன்ற மற்ருேர் இணைப்பு, இரண்டாவது கோளத்தை எதிர்-நிலேமின் ஆற்றல் பெறச் செய்கிறது. எனவே, இந்த இரு கோணத்திற்குமிடையே கிடைக்கும் மின் அழுத்த வேறுபாடு, தரை இணைப்புக்கும் ஒரு கோளத்திற்குமிடையே கிடைக்கும் மின் அழுத்த வேறுபாட்டைப் போல இரு மடங்காகும். எனவே, இவ்விரு கோளத்தினிடையே இருக்கும் சுற்றுப்புறக் காற்று, அயனியாக்கம் பெற்று ஒரு பொறியைத் தோற்றுவிக்கலாம். எனவே, இந்த இயற்றி, முழுவதும் காற்றுப் புகா உருளேகளில் வைக்கப்பட்டு, நைட்ரஜனுல் நிரப்பப்படுகிறது.



படம் 6.2
வான் டி கிராஃப் இயற்றி

இவற்றிலிருந்து கிடைக்கும் மின்னேட்டம், பட்டை, எந்த வீதத்தில் மின்னேட்டத்தைக் கோளகத்திற்கு மாற்றுகிறது என்பதைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஒரு வான் டி கிராஃப் இயற்றியிலிருந்து கிடைக்கும் பெரும மின்னேட்டம் பின்வருமாறு இருக்கும் எனலாம்.

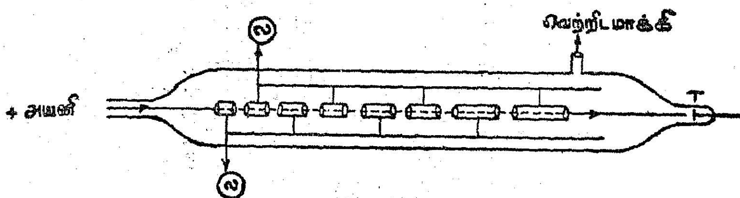
பெரும மின்னேட்டம் = மின்னூட்ட அடர்த்தி × பட்டையின் அகலம் × பட்டையின் வேகம்

6.4 நேரியல் - ஒத்திசைவுத் துகள் முடுக்கும் பொறிகள் (Linear Resonance Accelerators)

இந்தவகைத் துகள் முடுக்கும் பொறிகள் ஒத்திசைவு முடுக்கத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டவை. காக்ராஃப்ட்-வால்டன் மற்றும் வான் டி கிராஃப் இயற்றி இவைகளில் கிடைக்கும் மிக அதிக நிலைமின் ஆற்றலை, ஒரே தடவையில் துகள்களில் செயல்படுத்தி, துகள்களை முடுக்கம் பெறச் செய்யப்பட வேண்டியிருக்கிறது. அவ்வாறில்லாமல், துகள்களைச் சீரான இடைவெளியில் சிறிது சிறிதாக முடுக்கம் பெறச் செய்வதே இந்த வகைப் பொறிகளின் வழிமுறையாகும். இதனால், பொறியின் எந்த இரு இடங்களுக்கிடையேயும், மின்னழுத்த வேறுபாடு மிகக்குறைவாகவேயிருக்கும். அதே சமயத்தில் சிறுகச்சிறுக துகளும் முடுக்கம் பெறும். மேலும் மின்காப்பு போன்ற இடர்ப்பாடுகளைத் தவிர்க்கவும் இயலும்.



E. O. லாரென்ஸ்



படம் 6.3

நேரியல் இயற்றி செயல்படும் விதம்

படம் 6.3 ஒரு நேரியல் பொறி செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது. 1931ஆம் ஆண்டு E. O. லாரன்ஸும் (E. O. Lawrence) ஸ்லோனும் (Sloan) அமைத்த முதல் நேரியல் பொறியின் மாதிரிப் படம் இது.

படத்தில், மூலத்திலிருந்து வெளிவரும் நேர் மின்னூட்டமுடைய அயனிகள் மின் கடத்து குழாய் வரிசை ஒன்றின் ஊடே நேராகச் செல்லுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. 1, 3, 5 போன்று ஒற்றைப்படை எண்ணிக்கையுடைய குழாய்கள் ஓர் உயர்

மின்னழுத்த அலைவானின் ஒரு மின் முனையிலும் 2, 4, 6 போன்ற இரட்டைப்படை எண்ணுடைய குழாய்கள் அலைவானின் மற்றொரு மின் முனையிலும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்தக் குழாய்களுக்குள், காற்றுப் போன்ற ஊடகப் பொருள்கள் இருந்தால், அவை அயனியாக்க விளைவைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே, செயலிடம் முழுவதும் வெற்றிடமாக்குவது அவசியம். குறிப்பிட்டதொரு தருணத்தில் 1,3,5 குழாய்கள் எதிர் மின்னூட்ட நிலையைப் பெறுகின்றன என்றும் 2,4,6......குழாய்கள் நேர் மின்னூட்ட நிலையைப் பெறுகின்றன என்றும் கொள்வோம். அயனி வாயிலிருந்து வரும் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள், முதல் குழாயின் எதிர் மின்னூட்டத்தினல் ஈர்க்கப்பட்டு, முடுக்கம் பெற்றுக் குழாயினுள் விரைகிறது. இவ்வாறு நுழைந்த துகளானது குழாயினுள் எந்தவித முடுக்கமும் பெறுவதில்லை; ஏனெனில், குழாயினுள் நிலை மின்புலம் மாறாதிருக்கும். அத் துகள் முதல் குழாயினின்று வெளி வரும் நேரத்தில், அலைவானின் அரை அலைவு முடிந்து 2, 4, 6 போன்ற குழாய்கள் எதிர் மின்னூட்டத்தையும், 1,3,5 போன்ற குழாய்கள் நேர் மின்னூட்டத்தையும் பெறுமாறு முதல் குழாயின் நீளம் அமைந்தால், வெளிவரும் துகள், இரண்டாவது குழாயால் ஈர்க்கப்பட்டு, மேலும் முடுக்கம் பெறுகிறது. எனவே, அதிக வேகத்துடன் துகள் இரண்டாவது குழாயினுள் நுழைகிறது. துகள் இரண்டாவது குழாயினுள் அதன் நீளத்தைக் கடக்கும் நேரம், அலைவானின் அரை அலைவு நேரமாக அமைந்தால், துகள் இரண்டாவது குழாயை விட்டு வெளியேறும் தருணத்தில், மூன்றாவது குழாய் எதிர் மின்னூட்டமுடையதாக மாறி, துகளை ஈர்க்கும். எனவே, இரண்டாவது குழாயின் நீளம், முதல் குழாயின் நீளத்தை விட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். துகள்கள் முடுக்கம் பெறப்பெற, அவற்றின் வேகம் அதிகரித்துவிடுமாதலால், குழாயின் நீளத்தை அதற்குத் தக்கவாறு அதிகரித்து, துகள், ஒவ்வொரு குழாயையும் அதனுள் கடக்கும் நேரம், அலைவானின் அரை அலைவு நேரமாக இருக்கும்படி செய்தால், துகள்கள் படிப்படியாக முடுக்கம் பெறும்.

நேரியல் முடுக்கியில் ஒரு குழாயும் ஓர் இடைவெளியும் சேர்ந்த அமைப்பு ஒரு கூறு என்று கொள்ளலாம். இந்தக் கூறின் நீளம் L எனக் குறிக்கலாம். துகள் L_n நீளம் கொண்ட nஆவது கூறில் v_n திசைவேகத்துடன் சென்றால், இந்த நீளத்தைக் கடக்க அது எடுத்துக் கொண்ட நேரம்

$$T = \frac{L_n}{v_n} \qquad (6 \cdot 1)$$

எனவே, இந்த நேரம் அலைவானின் அரை அலைவு நேரமாக இருந்தால்தான் துகள் தொடர்ந்து முடுக்கம் பெறும்.

∴ அலைவானின் அதிர்வெண் f என்றால்,

$2T = f$ என்றிருக்க வேண்டும்.

ஆகவே,

$$T = \frac{1}{2f} = \frac{L_n}{v_n} \qquad (6{\cdot}2)$$

முடுக்கம் பெறும் துகளின் மின்னூட்டம் q என்றும் ($q = 2e$) முடுக்கம் தரும் அலைவானின் மின்னழுத்தம் $\overline{V}$ என்றும் கொண்டால், துகள், ஒவ்வோர் இடைவெளியிலும் பெறும் இயக்க ஆற்றல் $= q\overline{V}$ ஆகும். (6·3)

எனவே, மொத்தம் 'n' இடைவெளிகளிருந்தால் அது பெறும் மொத்த இயக்க ஆற்றல்,

$$T_n = n(q\overline{V}) = \tfrac{1}{2} m v_n^2$$

$$\therefore \quad v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot nq\overline{V}}{m}} \qquad (6{\cdot}4)$$

∴ சமன்பாடு (6·2)-ன்படி

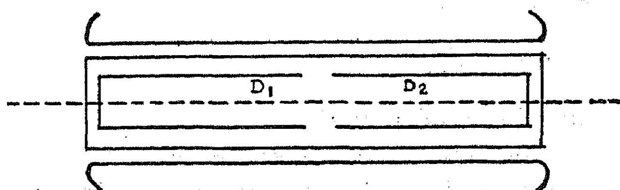
$$L_n = \frac{v_n}{2f} = \left\{\frac{nq\overline{V}}{2m}\right\}^{\frac{1}{2}} \Big/ f \qquad (6{\cdot}5)$$

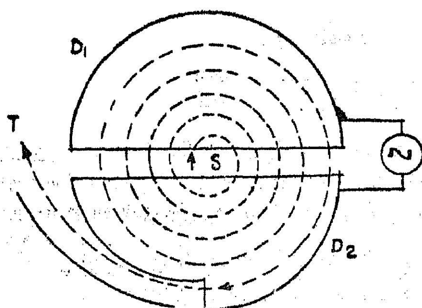
சமன்பாடு (6·5), nஆவது கூறு இருக்க வேண்டிய நீளத்தைக் குறிக்கிறது. குழாய்களின் நீளம், சமன்பாடு (6·5)-க்கேற்ப அமைக்கப்பட்டால் துகள்கள் சரியான கட்டத்தில் முடுக்கம் பெறும் வகையில் ஒரு குழாயைவிட்டு வெளியேறி, அடுத்த குழாயினுள் நுழையும். குழாயின் நீளத்தைக் குறைக்க f ஐ அதிகரிக்க வேண்டும். அதாவது $\overline{V}$ஐ அதிகரிக்க வேண்டும் என்பது சமன்பாடு (6·5)லிருந்து விளங்குகிறது. முதன் முதலில் 1930-ல் இந்த வித நேரியல் பொறிகள் அமைக்கப்பட்டபோது, உறுமிகை அதிர்வெண் கொண்ட அலைவான்கள் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. ஆயினும், தற்போது, பல ஆயிரம் மெகாஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண் உள்ள அலைவான்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளதால், இந்த வகை நேரியல் பொறிகள் மிகச் சிறப்பான இடத்தைப் பெற்றிருக்கின்றன.

6.5 சைக்ளோட்ரான் (Cyclotron)

நேர்கோட்டுப்பாதையில் இயக்கும் ஒத்திசைவுப் பொறிகளுக்குப் பதிலாகத் துகள்களை வட்டப்பாதையில் இயங்கவைத்து ஆற்றலூட்ட முடியும் என்ற கருத்தின் அடிப்படையில் லாரன்ஸ் சைக்ளோட்ரானைக் கண்டுபிடித்தார்.

இப் பொறி (படம் 6.4) தட்டையான உருளை வடிவ வெற்றிட அறையில் அமைந்த இரு உள்ளீடற்ற மின்முனைகளுக்குள்ளே துகள்கள் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அந்த மின்





படம் 6.4

சைக்ளோட்ரான் செயல்படும் விதம்

முனைகளை அவற்றின் வடிவம் காரணமாக Dக்கள் (*Dees*) என்கிறோம். Dக்களுக்கிடையே ரேடியோ அதிர்வெண் கொண்ட மின் அழுத்தம் செயல்படுகிறது. எனவே, இவ்விரு '*D*'க்களுக்கு மிடையே உள்ள வெளியில் மாறு மின்புலம் (accelerating electric field) தோன்றும். ஆயினும் Dக்களுக்குள்ளே, மின்புலமிருக்காது. Dக்களைக் கொண்ட வெற்றிட அறை பெரியதொரு காந்தத் துருவங்களுக்கிடையே வைக்கப்படுகின்றது. Dக்களுக்கு நேர்குத்தாகக் காந்தப்புலம் செயல்படுகிறது. வெற்றிட அறையின் மையத்தில் *S* என்ற அயனி வாயிலிருந்து குறைந்த வேகத்துடன் நேர் மின்னூட்டமுடைய (e) அயனிகள் வெளிவருகின்றன. இந்தத் துகள்கள் எந்த *D*, எதிர் மின்னூட்டம், அந்தச் சமயத்தில் பெற்றிருக்கின்றதோ, அதற்குள் ஈர்க்கப்படும். Dக்குள் காந்தப் புலம் (B) மட்டும் செயல்படுவதால், வேகம் மாறுததாகவும் அதே சமயத்தில் அதன் பாதை, மைய ஈர்ப்பு விசையால் அரை வட்ட

மாகவும் இருக்கும். இந்த விசையின் சமன்பாட்டைப் பின்வரு மாறு குறிக்கலாம்.

$$Bev_1 = \frac{mv_1^2}{r_1} \qquad (6\cdot6)$$

$$\therefore r_1 = \frac{mv_1}{Be} \qquad (6\cdot7)$$

m ⟶ துகளின் நிறை

r_1 ⟶ துகளின் வட்டத்தட ஆரம்

எனவே, D-ல் அது செல்லும் தூரமான πr_1 தொலைவைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் T,

$$T = \frac{\pi r_1}{v_1} \qquad (6\cdot8)$$

ஆகும்.

சமன்பாடு (6·7)-ன்படி,

$$\therefore T = \frac{\pi \cdot mv_1}{Bev_1} = \frac{\pi m}{Be} \qquad (6\cdot9)$$

(6·9)-ன்படி, துகள் Dயினுள் செல்லும் தூரத்தைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம், அதன் திசைவேகத்தையும், அதன் வட்டத்தட ஆரத்தையும் பொறுத்ததன்று என்று தெரிகிறது.

துகள் D_1-ஐ விட்டு வெளிவரும் தருணம், அலைவானின் அரை அலைவு நேரம் முடிந்து, மின்புலம் திசையை மாற்றிக்கொள்கிறது என்று கொள்வோம். இப்போது துகள் எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட D_2-வால் ஈர்க்கப்பட்டு முடுக்கம் பெறும். அலைவானின் அதிர்வெண் 'f' என்றால், அதன் அரை அலைவு நேரம் $\frac{1}{2f}$ ஆகும். துகள் இவ்வாறு முடுக்கம் பெறும் சூழ்நிலை உருவாக $\frac{1}{2f}$ என்ற இந்த அரை அலைவு நேரம், துகள் D-ல் செலவழித்த நேரமாக இருக்க வேண்டும்.

எனவே, சமன்பாடு (6.9)-ன்படி

$$\frac{1}{2f} = \frac{\pi m}{Be}$$

$$\therefore f = \frac{B}{2\pi} \cdot \left(\frac{e}{m}\right) \qquad (6\cdot10)$$

எனவே, கொடுக்கப்பட்ட அலைவானின் அதிர்வெண் (f)-க் கேற்ப துகளின் $\left(\frac{e}{m}\right)$க்குத் தக்கபடி, சமன்பாடு (6·10)-ஐக்

கொண்டு, காந்தப்புலம் B-ன் மதிப்பைச் சரி செய்துகொண்டால், துகள் எப்பொழுதுமே, அலைவானுடன் ஒத்திசைவாக இயங்கும். ஒவ்வொரு முறையும் துகள் இடைவெளியில் வரும்போது முடுக்கம் பெறுதலால், அதன் திசைவேகம் அதிகரிக்கும். அதற்கேற்ப அதன் வட்டத்தின் ஆரம் அதிகரிக்கும். எனவே, முடுக்குகின்ற மின்புலமும், வழிப்படுத்தும் காந்தப்புலமும் இணைந்து செயல்பட்டுத் துகளின் பாதை சுருள் வடிவமாக அமைகின்றது. துகளின் வேகம் அதிகரிப்பதால் ஏற்பட்ட மாறுதல், துகளின் சுற்றுப்பாதையின் நீளம் அதிகரிப்பதால் ஈடுசெய்யப்படுகின்றது. எனவே, துகள் முடிவாக, Dயின் ஓரத்தில் பேராற்றலுடன் வந்தடைகிறது. இத் துகளை, இலக்கு நோக்கி ஒரு மின் புலம் கொண்டு விலக்கலாம்.

D-யின் ஆரம் R என்றால், துகள் பெறும் பெரும ஆற்றல்,

$$E = \frac{1}{2} m v^2_{max} \tag{6·11}$$

சமன்பாடு (6·6)-ன்படி

$$Bev_{max} = \frac{m v^2_{max}}{R}$$

$$\therefore \quad v_{max} = B R \frac{e}{m}$$

$$\therefore \quad E = \frac{1}{2} B^2 R^2 (e/m)^2$$

சமன்பாடு (6·10)-ன்படி

$$E = 2\pi^2 f^2 R^2 m \tag{6·12}$$

எனவே, துகளின் இந்தப் பெரும இயக்க ஆற்றல், அலைவானின் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்ததன்று என்பதும், (BR) என்ற காந்தத் திண்மையைப் பொறுத்தது என்றும் விளங்குகிறது.

ஆயினும், துகளின் நிறை, அதன் வேகத்தைப் பொறுத்து மாறுமாகையால், குறிப்பிட்ட வேகத்திற்குமதிகமாகத் துகளை இயக்க முடியாது.

$$T = \frac{\pi m}{Be} = \frac{\pi}{Be} \cdot \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \tag{6·13}$$

இதில் 'v'ன் மதிப்பு அதிகரித்தால், T-ன் மதிப்பும் மாறும். எனவே, அதிவேகத்திற்கு முடுக்கப்பட்ட துகள்களின் சுற்று வேகம் அதிகரிக்கும். ஆகவே, அலைவானின் அரை அலைவு நேரத்தைவிட, துகள் அரைவட்டப் பாதையைக் கடக்கும் நேரம் அதிகமாவதால், ஒத்திசைவுப் பண்பு கெட்டுவிடும். எனவே, சைக்ளோட்ரான் கொண்டு, குறிப்பிட்ட ஒரு பெரும இயக்க ஆற்றல்வரைதான் துகள்களை முடுக்க முடியும்.

வினா (1): ஒரு சைக்ளோட்ரானின் Dக்களுக்கிடையே செயல் படும் ரேடியோ அலைவானின் அதிர்வெண் $9 \cdot 0 \times 10^6 Hz$ என்றால், α-துகள்களை முடுக்கத் தேவையான காந்தப் புலத்தைக் காண்.

[$(e/m)_\alpha = 4 \cdot 82 \times 10^7$ கூலும்/கி. கிராம்]

விடை: சமன்பாடு (6·10)-ன்படி

$$f = \frac{B}{2\pi} \cdot \left(\frac{e}{m}\right)$$

$$\therefore \quad B = \frac{2\pi \cdot f}{(e/m)}$$

$$f = 9 \cdot 0 \times 10^6 \ Hz$$

$e/m = 4 \cdot 82 \times 10^7$ கூலும்/கி.கிராம்

$$\therefore \quad B = \frac{2\pi \times 9 \times 10^6}{4 \cdot 82 \times 10^7}$$

$= 1 \cdot 19$ டெஸ்லா

வினா (2): புரோட்டானை முடுக்கும் சைக்ளோட்ரான் ஒன்றின் D-யின் பெரும ஆரம் 20 செ.மீட்டர். அதில் செயல்படும் காந்தப் புலம் $1 \cdot 5$ டெஸ்லா என்றால், அந்த சைக்ளோட்ரானின் Dக்களுக் கிடையே செயல்படும் அலைவானின் அதிர்வெண்ணையும் கிடைக்கும் புரோட்டான்களின் பெரும ஆற்றலையும் காண்க.

[$e_p = 1 \cdot 602 \times 10^{-19}$ கூலும்

$M_p = 1 \cdot 672 \times 10^{-27}$ கி. கிராம்

$1 Mev = 1 \cdot 6 \times 10^{-13}$ J]

விடை: சமன்பாடு (6·10)-ன்படி

$$f = \frac{B}{2\pi} \cdot \frac{e}{m}$$

$$= \frac{1 \cdot 5}{2\pi} \cdot \frac{1 \cdot 602 \times 10^{-19}}{1 \cdot 672 \times 10^{-27}}$$

அதிர்வெண் $(f) = 22 \cdot 8 \ MHz$

சமன்பாடு 6·12-ன்படி

$$E_{max} = 2\pi^2 f^2 R^2 m$$

$$= 2\pi^2 . (22.8 \times 10^6)^2 \times (20)^2 \times 1 \cdot 672 \times 10^{-27}$$

$$= 6 \cdot 88 \times 10^{-13} \ J$$

$$E_{max} = 4 \cdot 32 \ Mev$$

அட்டவணை 6·1

சைக்ளோட்ரான், நேரியல் பொறி—இவற்றிற்கான பண்புகளை ஒப்பு நோக்குதல்

நேரியல் பொறி	சைக்ளோட்ரான்
1. இது ஓர் ஒத்திசைவு இயங்கு பொறி	இதுவும் ஓர் ஒத்திசைவு இயங்கு பொறியாகும்.
2. முடுக்கம் பெற்ற துகள்களை இலக்கு நோக்கி ஏவுவதற்குத் தேவையான, குறைந்த காந்தப் புலமே போதுமானது.	முடுக்கம் பெற, மிகப் பெரிய மின்காந்த அமைப்புகளும், அதிகக் காந்தப்புலமும் தேவைப்படுகின்றது.
3. தேவையான முடுக்கம் பெறப் பல குழாய்கள் ஒரு நேர்கோட்டில் வைக்கப்பட வேண்டியிருப்பதால் செயவிடத்தை வெற்றிடமாக்குவது பெரிய பிரச்சினையாக மாறுகிறது.	துகள்கள் வட்டப் பாதையில் இயங்குவதால், சிறிய செயவிடமே போதுமானது.
4. அலைவானின் அதிர்வெண்ணை குழாய்களின் நீளத்திற்குத் தக்கவாறு சரிசெய்து கலைக் கோணப் பின்தங்கல் இல்லாமல் செய்வது கடினமான பொறியியல் இடர்களைத் தோற்றுவிக்கிறது.	துகளின் எடை, வேகத்திற்குத் தக்கவாறு அதிகரிப்பதால், ஒரு வரம்புக்குள்தான் ஆற்றல் பெறமுடியும்.
5. துகளைச் சரியான கட்டத்தில் முதல் குழாயில் செலுத்த, முதலில் சற்று இயக்க ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. இதற்காக, வான் டி கிராஃப் போன்ற இயற்றிகளையும் பயன்படுத்துதல் உண்டு.	இவ்வாறான தொடக்க ஆற்றல் தேவையில்லை.
6. முடுக்கம் பெற்ற துகள்கள் ஒருபடித்தான ஆற்றலைக் கொண்டவை.	முடுக்கம் பெற்ற துகள்களின் ஆற்றல் மாறுபடுவதுண்டு.
7. ஆற்றல் மட்டுமே அதிகமாகத் தேவைப்படுமானால் இந்த வகை முடுக்கும் பொறிகள் சிறப்பாகப் பயன்படுகின்றன.	துகளின் திறன் (power) மட்டும் அதிகமாகத் தேவையானால் இந்த வகைப் பொறிகள் சிறப்பாகப் பயன்படும்.
8. சில மாறுதல்களுடன் எலக்ட்ரான் முடுக்கும் பொறிகளாக இவை செயல்படுகின்றன. 1 Bev வரை எலக்ட்ரான்களை இவற்றின் மூலம் முடுக்க இயலும்.	புரோட்டான்போன்ற கனமான துகள்களை முடுக்கவே இவை பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

6.6 சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரான் (Synchro Cyclotron (or) Frequency Modulated Cyclotron)

சைக்ளோட்ரானில் செயல்படும் ரேடியோ அலைவான்களின் அதிர்வெண் சமன்பாடு (6·10)-ன்படி

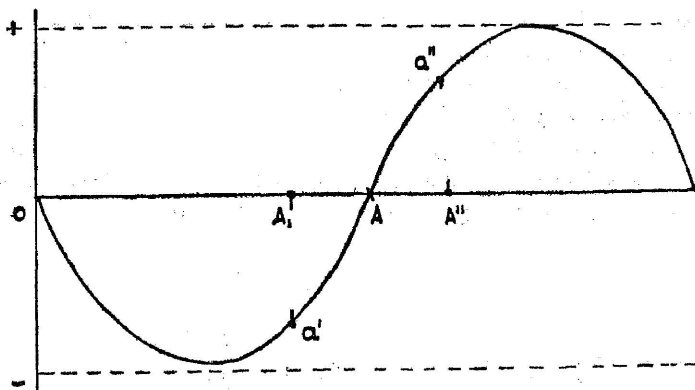
$$f = \frac{Be}{2\pi m} = \frac{Be}{2\pi m_0}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

என்றிருக்க வேண்டும் என்று பார்த்தோம். மேலும் v அதிகரிப்பதால், $\frac{v}{c}$ அதிகரித்து, துகள் D-க்குள் பயணமாகின்ற நேரம் அதிகமாகிறது. எனவே, துகள் அலைவானின் அரை அலைவு நேரம் முடியும் தறுவாயில், Dஐ விட்டு வெளிவருவதில்லை. எனவே, துகள் பின்னுேக்கி ஈர்க்கப்படுகிறது. இதைச் சரி செய்ய B-ஐத் தொடர்ந்து மாற்றி $B\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ ஐ மாறிலியாக வைக்கலாம். இப்பொழுது 'f' மாறிலியாக இருக்கும் அல்லது Bயை மாறிலியாகக் கொண்டு $\frac{v}{c}$ யின் மாறுதலுக்கேற்ப, $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ f -ஐத் தொடர்ந்து மாற்றிக்கொண்டே போகலாம். இவ்விரு முறைகளிலும், ஒத்திசைவு இயங்குதல் இல்லாமற் போவதைச் சரி செய்யலாம். வெக்ஸ்லர் (Veksler), மாக்மில்லன் (Mcmillan)என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும், இதுபோன்ற ஒரு சூழ்நிலையைச் செய்முறையாகத் தோற்றுவிக்க முடியும் என்பதைக் கொள்கையளவில் எடுத்துரைத்தார்கள். சைக்ளோட்ரான் சுற்றுப்பாதையில், சில பாதைகள் கலைக்கோண நிலைப்பாடு (Phase stability) உள்ளவை என்றறிந்தார்கள். எனவே, காந்தப்புலத்தைத் தொடர்ந்து அதிகரித்தோ, அல்லது அலைவானின் அதிர்வெண்ணைத் தொடர்ந்து குறைத்தோ, இந்தக் கலைக்கோண நிலைப்பாடுடைய சுற்றுப் பாதையில் வளைய வரும் துகள்களின் இயக்க ஆற்றலைப் பன்மடங்கு அதிகரிக்க இயலும் என்பதை அவர்கள் எடுத்துக் காட்டினுர்கள்.

6.6·1 கலைக்கோண நிலைப்பாடு

ஒரு நேர் மின்னூட்டமுடைய துகள் காந்தப்புலம் காரணமாக, வட்டப்பாதை ஒன்றில் வளைய வருவதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொருமுறை சுற்றும்போதும் அலைவானின் அதிர்வு எண் நேரத்திற்கிசைந்து துகள்கள், இரு Dக்களுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளியைத் தாண்டுகிறது எனக் கொள்வோம். அப்பொழுது சில 'நிலைப்பாடுடைய தடங்கள்' தெரிகின்றன. ஒரு துகள், இடை

வெளியிலிருந்து ஒரு D-க்குள் நுழையும்போது அலைவானின் கலைக்கோணம் (Phase) A என்ற நிலையால் குறிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம்.

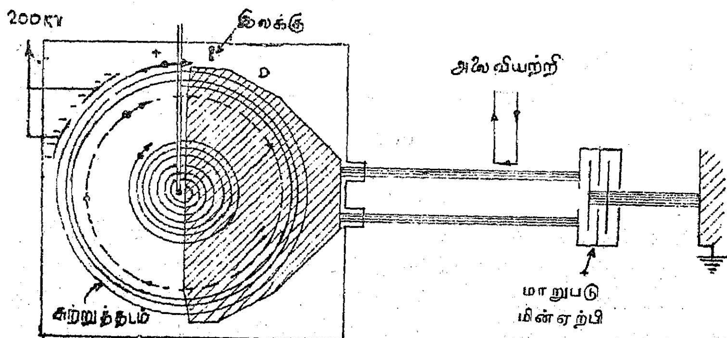


படம் 6.5

கலைக்கோண நிலைப்பாடு

O, A இவை முறையே கலைக்கோணங்கள், 0, π இவற்றைக் குறிப்பதாகும். ஒரு நேர் மின்னூட்டத் துகள் சரியாக 0 அல்லது π கலைக்கோணத்தில் இருக்கும்போது D-ஐ வந்தடைகின்றது என்றால் அது முடுக்கமோ அல்லது எதிர் முடுக்கமோ பெறாமல் ஒரே வேகத்தில் மாறா அலைவு நேரத்துடன் சுற்றுப்பாதையில் வலம்வரும். இப்போது மற்றொரு துகள், சற்று முன்னேரத்திலேயே, அதாவது ஒரு D-ன் கலைக்கோணம் *A'* என்றிருக்கும்போது இடைவெளியை வந்தடைகிறது எனக் கொள்வோம். D, இப்பொழுது *a'* அளவு எதிர் மின்னழுத்தம் பெற்றிருப்பதால் (படம் 6.5), துகளைக் கூலும் ஈர்ப்பு விசைக்கு ஆளாக்கி அதைத் தன்னை நோக்கி முடுக்குகிறது. எனவே, துகளின் நிறை அதிகரித்துப் பெரிய வட்டப் பாதையில் செல்லும். இதனால் பாதையைக் கடக்கும் நேரம் அதிகமாகி மீண்டும் 2π என்ற கட்டத்திற்குச் சரியான நேரத்திற்கு ஒத்திசைவாகத் துகள் வந்து சேருகிறது. இதுபோலவே *A''* என்ற பின்னடைந்த நேரத்தில் ஒரு Dயை நோக்கி வரும் துகள்கள், எதிர் முடுக்கம் பெற்று, அதனால் சற்றுச் சிறிய சுற்றுப்பாதையில் செல்கின்றன. இதனால் சுற்றும் நேரம் குறைந்து அடுத்தமுறை சரியான நேரத்தில் இடைவெளியை யடைகின்றன. எனவே, அலைவானின் கலைக்கோணத்தில் பின்தங்கி வரும் துகள்கள் முடுக்கம் பெற்றும், கலைக்கோணத்தைவிட முந்தும் துகள்கள் எதிர்

முடுக்கம் பெற்றும், முறையே சுற்றும் நேரம் கூடியும் குறைந்தும், அடுத்த சில சுற்றுகளுக்குள் மீண்டும் இசைவுக் கலைக்கோணத்தில் இடைவெளியை வந்தடைகின்றன. எனவே, இந்தக் கலைக்கோண நிலைப்பாடுடைய தடத்தில் சுற்றுகின்ற துகள்களைக் காந்தப் புலத்தை அதிகரித்தோ அல்லது அலைவானின் அதிர்வெண்ணை மாற்றியோ தேவைக்குத் தக்கபடி பண்பேற்றினால், ஒவ்வொரு முறையும் துகள் அலைவானின் $0, \pi, 2\pi$...கலைக்கோணத்தைவிடச் சற்று முன்பாக இடைவெளியை யடைய வைக்கமுடியும். எனவே, அவை ஒரு முடுக்கம்பெற்றுப் பெரிய சுற்றுப்பாதையை நிலையாக்கிக்கொள்கின்றன. இவ்வாறு அவற்றின் சுற்றுப்பாதையை அதிகரித்து அவற்றின் ஆற்றலைப் பெருக்க இயலும்.



படம் 6.6

சின்க்ரோ-சைக்ளோட்ரான் செயல்படும் விதம்

புரோட்டான், டியூட்ரான் போன்ற நேர் மின்னூட்டமுடைய துகள்களை, காந்தப்புலத்தை மாற்றாமல் அலைவானின் ரேடியோ அதிர்வெண்ணைப் பண்பேற்றும் முறையில் முடுக்கலாம். இவ்வாறான பொறிகள் சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரான் எனப்படுகின்றன. படம் 6.6 ஒரு சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரான் செயல்படும் முறையை விளக்குகிறது. இரண்டு Dக்களுக்குப் பதிலாக ஒரே ஒரு D-தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அலைவானின் அதிர்வெண் ஒரு மாறிலியாக இராமல், ஒரு சீராக இறங்கி ஏறுமாறு பண்பேற்றப்படுகிறது. துகள்கள், சிறிது சிறிதாக முடுக்கம் பெற்றுக் கடைசியில் பேராற்றலுடன் வெளியேறுகின்றன. இலக்கைத் தாக்கவேண்டி, தேவையான விலக்கம் செய்யும் மின்னோடு இணைப்புகளும் இதில் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன.

6.7 பீட்டாட்ரான் (Betatron)

ஒரு மின்மாற்றி செயல்படும் முறையிலேயே, ஒரு பீட்டாட்ரான் செயல்படுகிறது. ஒரு மின்மாற்றியில், முதன்மைத் தூண்டுச் சுருளில் செலுத்தப்படும் மாறு மின்னழுத்தம், காந்தப் பாயத்தினுல், இரண்டாம் தூண்டுச் சுருளில் மின்னழுத்தத்தை உண்டாக்குகிறது. சுற்றும் ஓர் எலக்ட்ரான், மின்னூேட்டமுடைய ஒரு மின்கம்பிச் சுருளுக்குச் சமம். எனவே, 'ф' காந்தப் பாயமுள்ள ஓர் இடத்தில், 'R' ஆரமுடைய ஒரு வட்டப் பாதையில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான், தூண்டும் மின்னியக்கு விசை

$$E = -\frac{d}{dt}(\phi) \tag{6·14}$$

எனவே, இந்த எலக்ட்ரானின் 'ஓரலகு' பாதையில் ஏற்படும் மின் புலம் x என்ருல்,

$$x = \frac{E}{2\pi R} = -\frac{1}{2\pi R}\cdot\frac{d\phi}{dt} \tag{6·15}$$

எனவே, எலக்ட்ரானின் மேல் செயல்படும் விசை ex,

$$ex = \frac{-e}{2\pi R}\cdot\frac{d\phi}{dt} \tag{6.16}$$

$e \longrightarrow$ எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.

இந்த விசையினுல் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் பெற்று எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை ஆரம் அதிகரிக்கும். இப்பொழுது எலக்ட்ரான் B என்ற காந்தப்புலத்தில் செயல்படுகிறது என்ருல்,

$$Bev = \frac{mv^2}{R}$$

$$\therefore mv = BeR$$

எனவே, எலக்ட்ரானின் மைய நோக்கு விசை,

$$= \frac{d}{dt}(mv) = \frac{d}{dt}\cdot BeR \text{ ஆகும்.} \tag{6·17}$$

ஓர் எலக்ட்ரான் R ஆரம் கொண்ட நிலையான சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வரவேண்டுமாளுல், இந்த மைய நோக்கு விசையும், தூண்டப்பட்ட புலனுல் எலக்ட்ரான் பெற்ற விசையும் சமமாக இருத்தல் வேண்டும்.

$$\therefore \quad \frac{e}{2\pi R} \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot BeR \qquad (6.18)$$

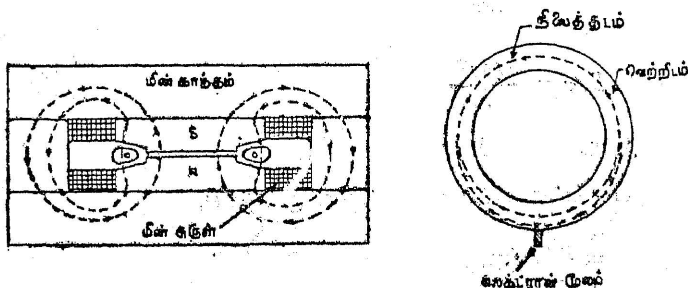
$$\therefore \quad \frac{d\phi}{dt} = 2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \pi R^2 B$$

$$\therefore \quad d\phi = 2 \cdot \pi R^2 \cdot dB$$

$$\therefore \quad \phi = 2\pi R^2 B \qquad (6.19)$$

சமன்பாடு (6.19) பீட்டாட்ரான் தொடர்பு எனப்படும். அதாவது, எலக்ட்ரான், ஒரு நிலையான சுற்றுத்தடத்தில் இயங்கி ஆற்றல் பெறவேண்டுமெனில் நடுநிலைத்தடப் பரப்பிற்குள் அமையும் காந்தப்புலச் சராசரி மதிப்பு $\left[\frac{\phi}{\pi R^2}\right]$ நிலைத்தடத்திலுள்ள காந்தப்புல மதிப்பைப்போல் இருமடங்காக இருத்தல் வேண்டும்.

ஒரு பீட்டாட்ரான் செயல்படும் முறை படம் (6.7)-ல் விளக்கப் பட்டிருக்கிறது. எலக்ட்ரான்கள், வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு வளைபந்து வடிவக் (Doughnut shape) குழாய்க்குள் (D_1D_2) முடுக்கம் பெறுகிறது. காந்தப் பாயத்தைச் (ϕ) சீராக அதிகமாக்கிக்கொண்டு போகத் தேவையான சிறப்பு முறை காந்தத் துருவங்களுக் கிடையே இந்தக் குழாய் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மின் காந்தத்தின் முதன்மைச் சுற்று ஒரு மாறு மின்னோட்டம் தரும் அலைவாக்கோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மாறு மின்னோட்டத்தின் (AC) நான்கில் ஒரு பாகம்தான் சீராக ஏற்றம் தரும் காந்தப்



படம் 6.7
பீட்டாட்ரான் செயல்படும் விதம்

பாயத்தை உண்டாக்குமாதலால், இந்தப் பகுதி தொடங்கும் போது எலக்ட்ரான்கள் தடத்தினுள் செலுத்தப்படும். சிறப்பு முறை

யில் அமைக்கப்பட்ட மின்காந்தத் துருவங்கள் 'பீட்டாட்ரான் தொடர்பை'ப் பூர்த்தி செய்யும் வகையில் இருக்கின்றன. உள்ளிடப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள், நிலேத்தடத்தில் பல ஆயிரம் முறை சுற்றி இயக்க ஆற்றல் பெறும். மாறு மின்னோட்டத்தின் அலே நேரத்தில் நான்கில் ஒரு பாகம் முடிந்தவுடன் இந்த எலக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்பட வேண்டும். இல்லாவிடில் எலக்ட்ரான்கள், எதிர் முடுக்கம் பெற்று ஆற்றலே இழக்கும். வெளியேற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் ஓர் இலக்கை நோக்கித் திடீரென்று தாக்கும்படி செய்தால், பேராற்றல் மிக்க X-கதிர்கள் கிடைக்கும்.

வினு : 80 செ.மீ நிலேத்தடம் கொண்ட ஒரு பீட்டாட்ரானில் பெருமக் காந்தப்புலம் 0·4 டெஸ்லா என்றும், அதன் அலேவானின் அதிர்வெண் 60 *Hz* என்றும் கொண்டால், எலக்ட்ரானின் ஒரு சுற்றுக்குக் கிடைக்கும் சராசரி ஆற்றலேயும், கிடைக்கும் மொத்த ஆற்றலேயும் காண்.

விடை : காந்தப் பாயம் (φ) அலேவானின் கோணத்திசை வேகத்தில் (ω) மாறுகிறது என்ருல்,

$$\phi = \phi_0 \sin \omega t$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega\phi_0 \cos \omega t$$

$$e \cdot \frac{d\phi}{dt} = e\omega\phi \cdot \cos \omega t$$

$e \cdot \frac{d\phi}{dt}$ தான் ஒரு சுற்றில் கிடைக்கும் ஆற்றல்.

எனவே, சராசரி ஆற்றல்,

$$\overline{e \cdot \frac{d\phi}{dt}}$$

$$= e\omega\phi_0 \ \overline{\cos \omega t}$$

($\overline{\cos \omega t}$, ஓர் அலேநேரத்தில் $\cos \omega t$-ன் சராசரி மதிப்பாகும்)

$\overline{\cos \omega t} = \frac{2}{\pi}$ என்பதால்,

$$\overline{e \cdot \frac{d\phi}{dt}} = e\omega\phi_0 \cdot \frac{2}{\pi}$$

ஆயினும்,

$$\phi_0 = 2\pi R^2 \cdot B$$

∴ சராசரி ஆற்றல்

$$= e\overline{\frac{d\phi}{dt}} = E = \frac{2}{\pi} \cdot 2\pi R^2 \cdot B.e\omega$$

$$R = 0{\cdot}8M,\ B = 0{\cdot}4\ T,\ \omega = 2\pi \times 60$$

$$\therefore\ E = 4 \times (0.8)^2 \times 0{\cdot}4 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2\pi \times 60$$

$$E = 563\ ev$$

கிடைக்கும் மொத்த ஆற்றல், எலக்ட்ரான் மொத்தமாகச் சுற்றும் பாதையைப் பொறுத்தது. எலக்ட்ரானின் வேகம் ஏறத்தாழ ஒளியின்வேகம் (c) என்று கொண்டால், 1 செகண்டிற்குக் கிடைக்கும் ஆற்றல், $\frac{e\Phi_0}{2\pi R} \times c$ ஆகும்.

$$\therefore \text{ மொத்த ஆற்றல் } = \frac{3 \times 10^8 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-13} \times 2\pi \times (0{\cdot}8)^2 \times {\cdot}4}{2\pi \times (0{\cdot}8)}$$

$$= 96\ Mev$$

6.8 சின்க்ரோட்ரான் (Synchrotron)

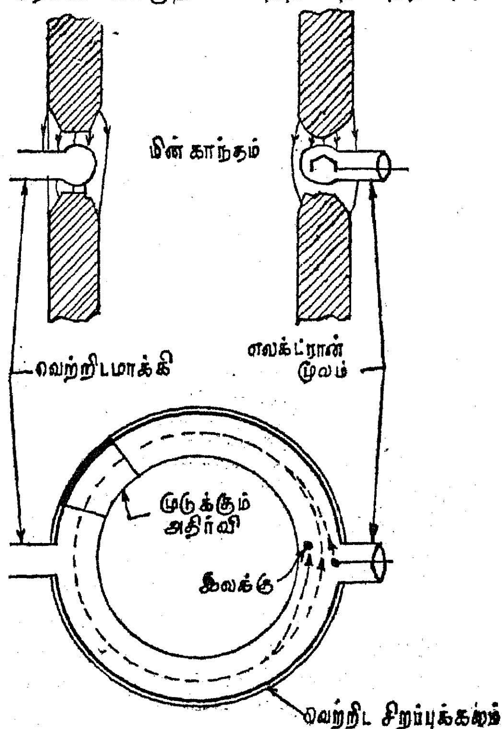
கலைக்கோண நிலைத்தடத்தில் சுற்றுகின்ற துகள்களை முடுக்கக் காந்தப்புலத்தைச் சீராக ஏற்றியோ அலைவானின் அதிர் வெண்ணைச் சீராகக் குறைத்தோ, செயல்படுத்த முடியும் என்று கண்டோம். எனினும், 2Mev இயக்க ஆற்றல் பெற்ற எலக்ட்ரான்கள்கூட ஏறத்தாழ ஒளியின் வேகத்தில் செல்வதால், அவற்றில் நிறை மிக அதிகமாகி ரேடியோ அதிர்வெண்ணை அதற்குத்தகுந்தாற்போல் பண்பு ஏற்ற இயலாமல் போய்விடுகிறது. எனவே, மற்றொரு முறையான 'B'-யைப் பண்பேற்றுவது கையாளப்படுகிறது. அவ்வாறாகச் செயல்படும் பொறிகள் சின்க்ரோட்ரான்கள் எனப்படும்.

6.8.1 எலக்ட்ரான்-சின்க்ரோட்ரான் (Electron-Synchrotron)

முதலில் எலக்ட்ரான்கள் 2 Mev வரை பீட்டாட்ரானால் முடுக்கப்படுகின்றன. இந்த பீட்டாட்ரானின் மிக விரைவில் அதிகரித்துக்கொண்டே இருக்கும் காந்தப்புலத்தின் ஒரு பகுதி நிலைத்தடத்தின் மையத்தினருகே அமைக்கப்பட்டிருக்கும் பாயக் கட்டைகள் மூலமும், மறுபகுதி, மின்காந்தத் துருவங்களின்மூலமும் செயல்படுகிறது.

இந்தப் பாயக் கட்டைகள் பெரும் காந்த உட்புகு திறன் (high permeability) கொண்டவையாக இருக்கின்றன (படம் 6.8). அவை குறைந்த காந்தத் தூண்டலால், காந்தப் புலத்தை அதி

கரிக்கும் தன்மை படைத்தவையாகவும், பெருமமாகத் தூண்டப் படும்போது தெவிட்டு நிலையையடையும் தன்மை பெற்றவையாக வும் இருக்கும். எலக்ட்ரான்கள் ஒளியின் வேகத்தை அடைந்ததும் ஏறத்தாழச் சீரான மாறுத வேகத்தில் நிலத்தடத்தில் சுற்றிவரு



படம் 6.8
எலக்ட்ரான்-சின்க்ரோட்ரான்

கின்றன. இப்பொழுது பகுதி *D*-யில் (Sector *D*) ஒரு மாறு மின் அழுத்தம் செயல்படுத்தப்படுகிறது. மேலும் காந்தப்புலம் *B* அதிகரிக்கப்படுகிறது. எனவே, எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் அதிகரிக் கிறது. இதனால் அவற்றின் நிறை அதிகரிக்கும். ஆயினும், இதைத் பலம்பொருந்திய காந்தப்புலம் சரிக்கட்டி, தடநிலைப்பாட்டை நிறுவுகிறது.

6.8·2 புரோட்டான்-சின்க்ரோட்ரான் அல்லது காஸ்மோட்ரான் (Proton Synchrotron or Cosmotron)

புரோட்டான்-சின்க்ரோட்ரான் செயல்படும் தத்துவம் எலக்ட் ரான்-சின்க்ரோட்ரானைப் போன்றதே. வான் டி கிராஃப் இயற்றி

யால் முடுக்கம் பெற்ற புரோட்டான்கள் ஒரு வளைபந்து வடிவ வெற்றிடக் கலத்தினுள் செலுத்தப்படுகின்றன. இப்பொழுது இந்தக் கலத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் செயல்படும் காந்தப் புலத்தால் புரோட்டான்கள் நிலைத்தடம் ஒன்றில் சுற்றிவருகின்றன. புரோட்டான்கள் ஒளியின் வேகத்தைப்போல் 0·98 மடங்கு வேகம் பெற்று 4 *Bev* ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. குறைந்த ஆற்றலுடைய புரோட்டான்கள், சீராக நிலைத்தடத்தில் செலுத்தப்பட்டு, மாறுகாந்தப் புலத்தால் முடுக்கப்படுகின்றன. சரியான அதிர்வெண்ணைக் கொண்டு புரோட்டான்களை உட்செலுத்தினால், நிலையான தடத்தில் புரோட்டான்களைச் சுழலச் செய்ய முடியும். 10 *Bev* வரை கூட இந்தவகைத் துகள் முடுக்கிகளால் ஆற்றல் பெற முடிவதால், காஸ்மிக் கதிர்களுக்கு இணையான ஆற்றல் பெற்றுத்தரும் இந்தப் பொறிகளைக் காஸ்மாட்ரான் என்று கூறுவது மிகப் பொருத்தமே.

6.8·3 இரு வாட்டம் தரு சின்க்ரோட்ரான் (Alternating gradient Synchrotron)

ஆற்றலை அதிகரிக்க அதிகரிக்கத் தேவைப்படும் சாதனங்களின் வகைகளும் அவற்றின் பொறியியல் அமைப்புகளும் சிக்கலான பிரச்சினைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே, புதிய வழிகளில் துகள்களின் ஆற்றலை அதிகம் பெற முயற்சிகள் பல செய்யப்பட்டன. முதலில் துகள்களை ஒருமுகப்படுத்தி, ஒரு சிறிய கூடு போன்ற வளையத்தில் வளைய வருமாறு குவித்திட முடியுமென்றால், தேவைப்படும் காந்தப்புலமும் சிறிய இடத்திலேயே செயல்படும். எனவே, பெரிய காந்தப்புல அமைப்புகள் தேவைப்படா. 'C' போன்ற அமைப்புப் பெற்ற காந்த அமைப்புகள் பலவற்றை ஒரு வட்டமாக அமைத்து அருகருகே உள்ள இரு காந்த அமைப்புகள் எதிரெதிர் 'C' யாக அமையுமாறு பொருத்தினால் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள், இவற்றினூடே செல்லும்போது, படிப்படியாகக் குவிந்தும் விரிந்தும் சென்று, மொத்தமாக ஒரு குவிந்த கற்றையாக வெளிவரும். எனவே, இந்தக் குவிந்த கற்றை சிறிய வட்டத் தடத்திலேயே நிலையாகச் செல்லும். ஆகவே, தேவைப்படும் காந்தப்புலம் சிறிய பகுதியில் செயல்பட்டால் போதும். இந்த வகைப் பொறிகள் CERN அணு ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் முதன் முதலில் நிறுவப்பட்டது. A.G. சின்க்ரோட்ரான் என்று பெயர் பெறும் இந்தப் பொறி 28 *Bev* ஆற்றல் தரக்கூடியதாக இருக்கிறது. அட்டவணை 7·1-ல் உலகில் பல்வேறு இடங்களிலும் செயல்படும் பலவகை முடுக்கும் பொறிகளில் மிக அதிக ஆற்றல் கொடுப்பவை மட்டும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 7.1

	பொறி	முடுக்கம் பெறும் துகள்	கிடைக்கும் பெரும ஆற்றல்	பொறி செயல்படும் ஆய்வுக்கூடம்
1.	நேரியல் பொறி	புரோட்டான்கள்	50 *Mev*	CERN அணு ஆராய்ச்சி நிலையம்
2.	சைக்ளோட்ரான்	டியூட்ரான்	20 *Mev*	பெர்மிங்காம்
3.	சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரான்	a) புரோட்டான்	730 *Mev*	பெர்க்லி
		b) டியூட்ரான்	680 *Mev*	டப்ன
		c) α-துகள்	910 *Mev*	பெர்க்லி
4.	பீட்டாட்ரான்	எலக்ட்ரான்	340 *Mev*	MIT அமெரிக்கா
5.	எலக்ட்ரான் சின்க்ரோட்ரான்	,,	330 *Mev*	MIT
6.	புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரான்	a) புரோட்டான்	3 *Bev*	ப்ருக்ஹேவன்
		b) ,,	12·5 *Bev*	அர்கோன
7.	A.G. சின்க்ரோட்ரான்	,,	50 *Bev*	லெனின்கிராடு

வினுக்கள்

1. ஒரு வான் டி கிராஃப் இயற்றி செயல்படும் முறையையும், காக்ராப்ட் - வால்டன் பொறி செயல்படும் முறையையும் படத்துடன் விளக்குக.

2. நேரியல் பொறிகள் செயல்படும் விதத்தைக் கொள்கை, படம் இவற்றுடன் விளக்குக.

3. ஒரு சைக்ளோட்ரான் செயல்படும் விதத்தை விளக்குக. அதன் குறைபாடுகள் யாவை?

4. ஒரு சைக்ளோட்ரானுக்கும் சின்க்ரோ சைக்ளோட்ரானுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடுகள் யாவை? ஒரு சின்க்ரோட்ரான் செயல்படும் விதத்தை விவரி.

5. பீட்டாட்ரான் செயல்படும் விதத்தை விவரி. சைக்ளோட்ரானிலிருந்து எந்த விதத்தில் இது மாறுபடுகிறது.

6. துகள் முடுக்கும் பொறிகளைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

7. சிறு குறிப்பு எழுதவும்
   (a) A.G. சின்க்ரோட்ரான்.
   (b) கலேக்கோண நிலைப்பாடும் தடநிலைப்பாடும்.
   (c) எலக்ட்ரான் - சின்க்ரோட்ரான்.

8. 15 செ.மீ ஆரமுடைய Dக்களைக்கொண்ட 1·5 டெஸ்லா காந்தப்புலம் கொண்ட ஒரு சைக்ளோட்ரான், புரோட்டானை முடுக்கினல் புரோட்டானின் பெரும ஆற்றல் காண்.

9. 8·6 *MHz* அலைவானுடன் இணைக்கப்பட்ட சைக்ளோட்ரான் புரோட்டானை முடுக்கவேண்டுமானல் தேவையான காந்தப் புலம் என்ன?

7. அணுக்கருவின் நிலைப்பண்புகள்

7.1 முன்னுரை

இதுவரையில் நாம், அணுக்கரு என்பது, நியூட்ரான்களையும் புரோட்டான்களையும் தன்னகத்தே கொண்ட ஓர் உறுப்பு என்ற அளவில்தான் தெரிந்துகொண்டோம். அணுக்கரு வினைகளைப் பற்றி நன்கு அறிய மேலும் சில தகவல்கள் நமக்குத் தேவைப் படுகின்றன.

7.2 அணுக்கருவின் பருமன் (Size of nucleus)

ருதர்ஃபோர்டின் சிதறல் முறையில் நாம் அணுக்கருவின் பருமனை ஓரளவு சரியாகக் கணிக்க முடியுமென்று கண்டோம். நேரடியாகக் கருவை மோதும் ஒரு α-துகள் $180°$ சிதறலடையக் கூடும். இப்பொழுது, α-துகள் தன் இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் இழந்து, அணுக்களுக்கு மிக அருகில் செல்கிறது. எனவே, தன் இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் நிலையின் எதிர்ப்பு ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது.

$$T = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 . r}$$

$$\therefore r = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 . T} \qquad (7.1)$$

காட்டாக,

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் கிடைக்கும் α-துகள்களின் பெரும ஆற்றல் 7.7 *Mev* ஆகும். எனவே, இந்த ஆற்றல் கொண்ட α-துகள் அணு எண் (*Z*) 82 கொண்ட காரீயத்தின் அணுக்கருவின் அருகே செல்லக்கூடிய சிறும தூரம்,

$$r = \frac{2 \times 82 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{4\pi\epsilon_0 . (7.7 \times 1.6 \times 10^{-13} J)}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9\times10^9 \ F.m^{-1}$$

$$\therefore \ r = 3.0\times10^{-14} \text{ மீட்டர்கள்} \qquad (7.2)$$

மேலும் ஓர் அணுக்கருவின் கொள்ளளவு, அதனுள் உள்ள கருத் துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு (A) நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. எனவே, ஓர் அணுக்கருவின் ஆரம் R என்றால் அதன் கொள்ளளவு,

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \frac{4}{3}\pi R^3 \propto A$$

$$\therefore \ R \propto A^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore \ R = bA^{\frac{1}{3}} \qquad (7.3)$$

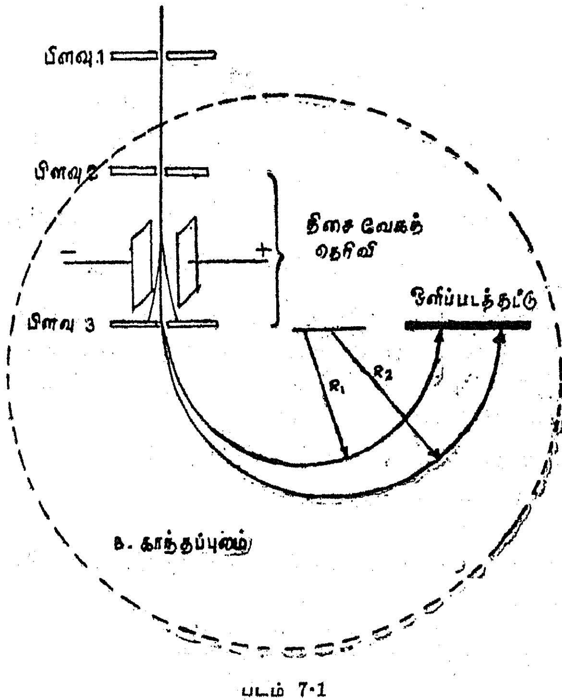
b-ன் மதிப்பு சுமார் 1.1×10^{-15} மீட்டர் ஆக இருப்பதாகக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. (7.4)

நிலைமின் செயலெதிர்ச் செயல்படும் முறைகளான எலக்ட்ரான் சிதறல் முறைகளிலிருந்தும், துகள்-துகள் செயலெதிர்ச் செயல் படும் முறைகளான நியூட்ரான் சிதறல் போன்ற முறைகளி லிருந்தும் கிடைக்கும் b-ன் மதிப்பு [சமன்பாடு (7.3), சமன்பாடு (7.4)-லிருந்து] சிறிது வேறுபடுகிறது. இதற்குக் காரணம் அணுக் கருவினுள், மின்னூட்டம் சீராகப் பரவியில்லாமலிருப்பதே.

7.3 அணுக்கருவின் நிறை

பொதுவாக, நிறைமாலை வரைவி கொண்டு கருவின் நிறையைக் காணல் எளிது. ஒரு நிறைமாலை வரைவி செயல்படும் முறையைப் படம் 7.1 விளக்குகிறது. எந்தத் தனிமத்தின் நிறையைக் காணவேண்டுமோ, அந்தத் தனிமத்தை முதலில் அயனியாக்கி, அதன் நேர்மின் அயனி ஒரு பிளவை வழியாக நிறைமாலை வரைவிக்குள் செலுத்தப்படுகிறது. அந்த அயனிகள் வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் உட்புகுவதால் அவற்றை முதலில் ஒரு திசைவேகத் தெரிவி (velocity selector) மூலமாகத் தெரிந் தெடுக்கவேண்டும். இந்தத் திசைவேகத் தெரிவி, 'X' மதிப்புக் கொண்ட மின்புலத்தையும், அதற்குச் செங்குத்துத் திசையில் 'B' மதிப்புக் கொண்ட காந்தப்புலத்தையும் கொண்ட அமைப்பாகும். இவ்விரு புலங்களும் அயனி செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாக அமையும்.

அயனியின்மீது செயல்படும் வகைகள் eX என்ற மின்புல விசையும், Bev என்ற காந்தப்புல விசையுமாகும். இவ்விரு விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று எதிரெதிர்த் திசையில் செயல்படுகின்றன.



படம் 7·1
நிறைமாலை வரைவி செயல்படும் விதம்

எனவே, அயனி திசைவிலக்கமடையாமல் நேராகப் பிளவு வழியாகச் செல்லவேண்டுமானல், இரு விசைகளின் மதிப்பும் சமமாக இருக்கவேண்டும்:

$$eX = Bev$$

$$\therefore \quad v = \frac{X}{B} \qquad (7.5)$$

எனவே, சமன்பாடு (7.5)-ன்படி திசைவேகம் கொண்ட அயனிகளே பிளவு வழியாகச் செல்லமுடியும். அவை மீண்டும் காந்தப் புலத்தினுல் வட்டத்தடப் பாதையில் விலக்கப்படும். இந்த வட்டத்தட ஆரத்தின் மதிப்பைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$$Bev = \frac{mv^2}{R}$$

$$\therefore \quad R = \frac{mv}{eB}$$

$$= m\frac{X}{eB^2} \qquad (7.6)$$

எனவே, R, X, B மற்றும் அயனிகளின் மின்னூட்டம் 'e' இவற்றைக் கொண்டு அயனியின் நிறையைக் காணலாம். அணுக்கருவின் நிறையை $\frac{1}{100,000}$-க்குத் திருத்தமாகக் காணக்கூடிய நிறைமாலை வரைவிகள்கூட இப்பொழுது அமைக்கப்படுகின்றன.

ஓர் அணுக்கருவின் நிறை, அணு நிறை அலகில் குறிப்பது வழக்கம். கார்பன் ஐசோடோப் $_6C^{12}$-ன் நிறையை 12 *a.m.v.* என்று கொண்டு, மற்றக் கருக்களின் நிறைகளைக் குறிப்பது இப்பொழுது வழக்கத்திலுள்ளது.

$$1 \; a.m.v. = 1.66 \times 10^{-27} \text{ கி. கிராம்கள்.}$$

$$= 931{\cdot}441 \; Mev \qquad (7.7)$$

ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் அடர்த்தியைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1{\cdot}66 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi\,(bA^{\frac{1}{3}})}$$

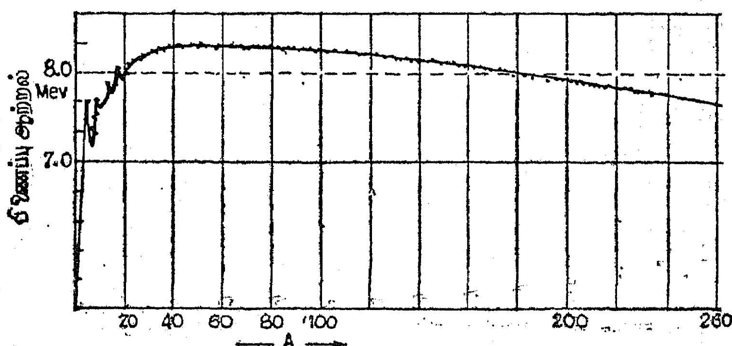
$$= \frac{1{\cdot}66 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3}\pi \times (1{\cdot}1 \times 10^{-15})^3}$$

$$\therefore \quad \text{அடர்த்தி} \simeq 10^{17} \, \frac{\text{கி. கிராம்}}{\text{மீட்டர்}^3}$$

7.4 நிறைகுறைபாடு

பொருள்களின் நிறையைத் துல்லியமாகக் காணச் சிறந்த பல நிறைமாலை வரைவிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவுடன், அணுக்கருவின் நிறையைக் கண்டதில் முக்கியமான ஓர் உண்மை தெரிய வந்தது. மிகவும் இலேசான தனிமமான ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் நிறை 1.007276 *a.m.v* ஆகும். ஒரு நியூட்ரானின் நிறை 1.008665 *a.m.v.* மற்ற எல்லாத் தனிமங்களின் நிறைகளும் ஏறத்தாழ ஹைட்ரஜன் தனிமத்தின் நிறையின் முழுமடங்காக

இருக்கிறது. எனவே, இது எல்லா அணுக்கருக்களும் ஓரலகு நிறையையுடைய அடிப்படைத் துகள்களால் ஆனவை என்ற கொள்கைக்கு ஆதரவு அளிப்பதாக இருக்கிறது. புரோட்டான்-நியூட்ரான் கொள்கைக்கு இது வலிமையூட்டுவதாக அமைகிறது. ஆயினும், கருக்களின் நிறைகள் நுட்பமான முழு எண்ணுகவும் இல்லை. அவை முழு எண் விதியிலிருந்து ஓர் ஒழுங்கு முறையோடு பிறழ்கின்றன. காட்டாக, ஹீலிய அணுக்கருவின் நிறை **4.002604 a.m.u** ஆகும். ஹீலிய அணுக்கரு இரு புரோட்டான்களையும், இரு நியூட்ரான்களையும் தன்னகத்தே கொண்டதென்று கொண்டால் அவற்றின் மொத்த நிறையான 4.03188 *a.m.u* ஆக ஹீலிய அணுக்கருவின் நிறை இருத்தல் வேண்டும். மேலும், இந்த **0.029278 *a.m.u*** நிறைகுறைபாடு செய்முறைச் சோதனைகளில் ஏற்படும் பிழையால் அன்று என்று உறுதி செய்யப்பட்டது. எனவே, $(\delta m)c^2 = 28$ *Mev*-க்கு ஈடாகிய இந்த ஆற்றல் எங்ஙனம் குறைய முடியும் என்பது ஆராயப்பட்டது. ஐன்ஸ்டீனின் நிறை-ஆற்றல் தொடர்பின் அடிப்படையில் இந்த இடர்ப்பாட்டிற்குத் தக்கதொரு விளக்கம் கொடுக்கலாம். அடிப்படைத் துகள்களை நிலையான அணுக்கருவாக ஒன்றுசேர்த்துப் பிணைத்துத் தொகுப்பதில் ஒருவகை ஆற்றல் பரிமாற்றம் ஏற்படுகிறது. இது 'பிணைப்பாற்றல்' (Binding Energy) எனப்படும். பிணைப்பாற்றல் என்பது அடிப்படைத் துகள்களை ஓர் அணுக்கருவிற்குள் சேர்த்துப் பிணைக்கும் போது மறைநிலையாக இருக்கும் ஆற்றலாகும். எனவே, ஹீலியத்தின் 28 *Mev*-க்குச் சமமான நிறைகுறைபாடு



படம் 7.2
கருவின் அணு எண்-பிணைப்பு ஆற்றல் இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பு

உண்மையில் 4 துகள்களையும் ஒன்றுசேர்க்கும் பிணை... ஆகச் செயல்பட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. எனவே, ஒற்றது என்பது ...ன் சராசரிப் பிணைப்பாற்றல் 7 *Mev* ஆகும். இ... fine structure)

அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றலையும், நிறைகுறைபாட்டி லிருந்து கணக்கிட இயலும். படம் 7.2, அணுக்கருவின் நிறை எண்ணுக்கும் (A) ஒரு துகளின் பிணைப்பாற்றலுக்குமிடையே வரைந்த வரைபடமாகும்.

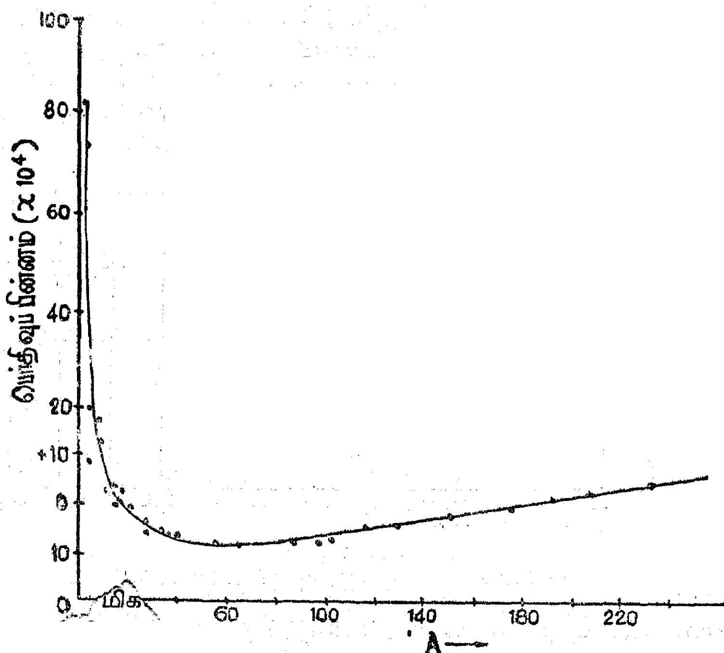
எல்லாத் தனிமங்களையும் கருத்தில் கொண்டால், ஒரு துகளின் சராசரிப் பிணைப்பாற்றல் 8 *Mev* ஆகும். குறிப்பாக 8 *Mev* என்பது ஒரு புரோட்டானின் நிறைக்கும் (அல்லது தோராயமாக ஒரு நியூட்ரானின் நிறைக்கும்) ஓர் 'ஓரலகு' நிறைக்குமிடையே உள்ள நிறை வேறுபாடாக அமைகிறது.

7.5 பொதிவுப் பின்னம் (Packing fraction)

ஓர் அணுக்கருவின் பொதிவுப் பின்னம் (p) கீழ்வரும் தொடர் பால் குறிக்கப்படும்.

$$p = \frac{M - A}{A} \tag{7.6}$$

M — அணுக்கருவின் நிறை.
A — அணு எண்.



படம் 7.3
பொதிவுப் பின்னம் இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பு

படம் (7.3)-லிருந்து கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் விளங்குகின்றன. (i) அணு எண் A, 20-க்கும் குறைவாகவும் ($A < 20$), அணு எண் 190-க்கும் அதிகமாகவும் ($A > 190$) உள்ள தனிமங்களின் பொதிவுப் பின்னம் நேர்க்குறியுடையதாக இருக்கிறது. அதாவது அவற்றின் பிணைப்பாற்றல் சராசரிப் பிணைப்பாற்றலான 8 Mevஐவிட அதிகம்.

(ii) 20-க்கும் 190-க்குமிடைப்பட்ட அணு எண்ணைக்கொண்ட அணுக்கருக்களின் பொதிவுப் பின்னம் எதிர்க்குறியுடையதாக இருக்கிறது. அதாவது அவற்றின் பிணைப்பாற்றல் 8 Mevஐவிடக் குறைவு.

7.6 அணுக்கரு மின்னூட்டம்

ஓர் அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்களின் மொத்த மின்னூட்டமே அணுக்கருவின் மின்னூட்டமாகும். இயற்பியல், மற்றும் வேதியியல் பண்புகளை வகுத்துக் கொடுக்கும், சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையே அந்த அணுக்கரு மின்னூட்டத்தைப் பொறுத்ததுதான். எனவே, அணுக்கரு மின்னூட்டத்தைக் கண்டுபிடிப்பது மிக அவசியமாகிறது. சிறப்பியல் X-கதிர்களின் நிறமாலையைக் கொண்டு, எளிதில் ஓர் அணுக்கருவின் மின்னூட்டத்தைக் காண முடியும். 'ν' அதிர்வெண் கொண்ட, சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களைத் தரவல்ல ஒரு தனிமத்தின் அணு எண்ணுக்கும் 'ν'-க்கும் உள்ள தொடர்பை மாஸ்லே தொடர்பால் (Mosley relations) குறிப்பிடலாம்:

$$\nu \sqrt{\nu} = a\,(Z-b)^2 \qquad (7.9)$$

a, b—மாறிலிகள்.

எனவே, தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட சில தனிமங்களின் சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர் நிறமாலையைக் கண்டு, அவற்றின் Z-க்கும், குறிப்பிட்ட சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களின் அதிர்வெண்ணின் மடக்கைக்கும் $\left(\nu^{\frac{1}{2}}\right)$ ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது ஒரு நேர்கோடாக அமையும். எனவே, கொடுக்கப்பட்ட தனிமத்தின் சிறப்பியல் X-கதிர்களின் 'ν'வை செய்முறைச் சோதனைகளால் அறிந்து இந்த நேர்கோட்டிலிருந்து, அதன் Zஐக் கண்டுபிடிக்கலாம். ஒரு புரோட்டான் மின்னூட்டம் e என்றால், இந்த அணுக்கருவின் மின்னூட்டம் 'Ze' ஆகும்.

7.7 அணுக்கருவின் தற்சுழற்சி

அணுக்கரு ஒரு தற்சுழற்சியைப் பெற்றிருக்கிறது என்பது அணு நிறமாலையில் 'மீநுண் வரிகள்' (Hyperfine structure)

அமைந்திருப்பதன் மூலம் ஊகிக்கப்பட்டது. அணு நிறமாலையில் தோன்றும் நுண் வரிகள் (fine structure) எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சியாலும், பல ஐசோடோப்புகளைத் தனிமம் கொண்டிருப்பதன் விளைவாலும் விளக்க முடிந்தது. ஆயினும் பிஸ்மத் போன்ற ஒரே ஓர் ஐசோடோப்பைக் கொண்ட தனிமம்கூட 'மீநுண் வரிகள்' கொண்டிருப்பதை எலக்ட்ரான் தற்சுழற்சியை மட்டும் கணக்கில் கொண்டு விளக்கம் கூற இயலவில்லை. எனவே, 1924ஆம் ஆண்டு பௌலி, இந்த மீநுண் வரிகள் அமையக் காரணம், அணுக்கரு தற்சுழற்சி பெற்றிருப்பதன் விளைவே என்று எடுத்துரைத்தார். அணுக்கருவின் சுழற்சியால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறனும், புற எலக்ட்ரான்களின் சுழற்சியால் ஏற்படும் காந்தத் திருப்புதிறனும் சேர்ந்து பின்னிச் செயல்படுவதால் ஏற்படும் விளைவில், அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள் சிறிது வேறுபடுகின்றன. எனவே, இந்த ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து எலக்ட்ரான் மற்றோர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவும்போது 'மீநுண் வரிகள்' தோன்றுகின்றன என்று கொள்கைசார் விளக்கம் கூறினார் பௌலி.

இரட்டை அணுக் கூறுகளின் பட்டை நிறமாலைகளில் அடுத்தடுத்த சுழற்சிக் கோடுகளின் செறிவு மாறிமாறி அமைவதும் (alternating intensity in the rotational spectra of diatomic molecules like CO, Cl_2) சாதாரண ஹைட்ரஜன் வாயுவில் ஆர்த்தோ ஹைட்ரஜன், பாரா ஹைட்ரஜன் (ortho and para hydrogen) என்ற இருவகை இருப்பதும், அணுக்கரு தன்னகத்தே ஒரு சுழற்சியைக் கொண்டிருக்கிறது என்பதை உறுதி செய்தன.

ஓர் அணுக்கருவின் சுழற்சிக் கோண உந்தத்தை (p_I)

$$p_I = I\hbar \qquad (7\cdot10)$$

எனக் குறிப்பிடலாம்,

இதில் I என்பது, 'அணுக்கரு சுழற்சிக் குவாண்டம் எண்' ஆகும்.

மேலும் $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

செய்முறைச் சோதனைகளின் வாயிலாக, I-ன் மதிப்பு, முழு எண் அல்லது அரை (மடங்கு முழு) எண் (half integral value) ஆக இருக்கலாம் என்று தெரிகிறது. இரட்டைப்படை எண்

புரோட்டான்களும், இரட்டைப்படை எண் நியூட்ரான்களும் கொண்ட (even-even nuclei) அணுக்கருவின் சுழற்சி எண் I சுழியாகவும், ஒற்றைப்படை எண் நியூட்ரான்களும் புரோட்டான் களும் கொண்ட (odd-odd nuclei) அணுக்கருவின் சுழற்சி எண் I முழு எண்களாகவும், (1,2,3 .....) கருத் துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கை, ஒற்றைப்படை எண்ணாக அமைந்தால் (even-odd nuclei) சுழற்சி எண் I, அரை (மடங்கு முழு) எண்ணாகவும் இருக்கு மென்றும் சோதனைகளின் முடிவுகள் தெரிவிக்கின்றன.

ஓர் அணுக்கருவின் காந்தத் திருப்புதிறன் (μ_I)-ஐப் பின்வரு மாறு குறிப்பிடலாம்.

$$\mu_I = g\hbar \frac{e}{2M} \qquad (7.11)$$

g-ன் மதிப்பு வெவ்வேறு கருக்களுக்கு வெவ்வேறு அளவாக இருக்கும். M என்பது புரோட்டானின் நிறை,

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2M} \qquad (7.12)$$

என்பது அணுக்கரு மாக்னடான் (μ_n) (Nuclear Magneton) எனப் படும்.

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2M}$$

$$= 5{\cdot}05 \times 10^{-27} \text{ ஆம்பியர்—மீட்டர்}^2 \qquad (7.13)$$

ஓர் எலக்ட்ரானைப் போலவே, ஒரு புரோட்டானின் சுழற்சிக் கோண உந்தமும் (p_I), $\frac{1}{2}\hbar$ ஆகும். ஒரு புரோட்டானின் காந்தத் திருப்புதிறனின் மதிப்பு,

$$\mu_{\text{புரோட்டான்}} = 2.792\mu_n \qquad (7.14)$$

நியூட்ரானின் சுழற்சிக் கோண உந்தம்,

$$p_{I\,\text{நியூட்ரான்}} = \tfrac{1}{2}\hbar \qquad (7.15)$$

நியூட்ரான், எந்தவித மின்னூட்டமும் பெற்றிராவிடினும். அது தற்சுழலும்போது ஒரு காந்தத் திருப்புதிறனைப் பெற்றிருப் பதைக் கண்டுள்ளார்கள். இது புரோட்டான் காந்தத் திருப்பு திறனுக்கு எதிர்த் திசையில் செயல்படுகிறது.

$$\mu_{\text{நியூட்ரான்}} = -1.913\mu_n \qquad (7.16)$$

விந்தையான இந்தப் பண்பு நியூட்ரான் ஓர் அசாதாரண இயலமைப்புப் பெற்ற துகள் என்று தெரிகிறது. அது நேர் மின்னூட்டம், எதிர் மின்னூட்டம் இரண்டும் ஒருங்கே பெற்று, சுழல்-அச்சுக்கு அருகில் நேர் மின்னூட்டமும் அச்சிலிருந்து சிறிது தள்ளி எதிர் மின்னூட்டமும் பெற்றிருக்கிறது என்றும் கொள்ளத்தக்கது.

7.8 அணுக்கரு வடிவமைப்பு (Nuclear Model)

ஒரு பொருளின் வடிவமைப்பு எவ்வாறிருக்கும் என்பதை உணர முடியாத நிலையில் அதன் தன்மை, பண்புகளைப் பொறுத்துப் பொதுவாக ஏதோ ஒரு வடிவமைப்பை முன் மாதிரியாக ஊகித்துப் பின் அதைச் சீர்படுத்துவதே இயற்பியல் துறை அறிவியலாளர்கள் கைகொள்ளும் முறை. போரின் அணு மாதிரியும், சூரியக் குடும்பத்தை முன் மாதிரியாக வைத்துச் சீர் செய்யப்பட்டதுதான். அணுக்கரு பல துகள்களைத் தன்னகத்தே கொண்டுள்ளது. எனவே, அதன் வடிவமைப்பு எப்படியிருக்கும் என்பதற்குப் பல ஊகங்கள் செய்யப்பட்டன. இவை பெரும்பாலும், அணுக்கருவின் நிலையான பண்புகளையும் தன்மைகளையும் பொறுத்து ஊகிக்கப்பட்டவை. துகள் முடுக்கும் பொறிகள் அணுக்கரு ஆராய்ச்சியில் பெருமளவு பங்கு பெற்றபின், அணுக்கரு வினைகளின் தன்மைகளையும் மனத்திற் கொண்டு, இந்த இயலமைப்பில் பல திருத்தங்கள் செய்யப்பட்டன. இங்கு நாம் சிறப்பாக இரு முக்கிய இயலமைப்பு மாதிரிகளைப் பார்ப்போம்.

7.8·1 திரவத் திவலை மாதிரி அமைப்பு (Liquid Drop Model)

ஒரு திரவத் திவலைக்கும், ஓர் அணுக்கருவிற்குமிடையே உள்ள பண்பு ஒற்றுமைகளை நீல்ஸ் போர் முதலில் சுட்டிக்காட்டினார்.

(i) அணுக்கருவின் நிறைகுறைபாட்டை அளப்பதன் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மொத்தப் பிணைப்பாற்றல், அந்தக் கரு தன்னுள் கொண்டிருக்கும் கருத் துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர் விகிதமாக இருக்கிறது. திரவத் திவலையின் பிணைப்பாற்றல் அதிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருப்பதை இங்கு நினைவு கொள்ளலாம்.

(ii) ஓர் அணுக்கருவின் கொள்ளளவு அதிலுள்ள கருத் துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. அதாவது கருத் துகள்கள் நெருங்கிப் பிணைப்புற்றிருக்கின்றன. திரவத் திவலையும் இவ்வாறு நெருங்கிப் பிணைக்கப்பட்ட மூலக்கூறுகளாலானது.

(iii) இரு கருத் துகள்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசை குற்றெல்லையைக் (short range) கொண்டதாக இருக்கிறது. அதாவது ஒரு குறுகிய எல்லைக்குள் இரு அணுக்கருத் துகள்கள் ஒன்றை ஒன்று ஈர்க்கும் விசை மிகமிக அதிகமாகவும், அந்த எல்லைக்கு அப்பால் விசை பெரிதும் குறைந்துபோவதாகவும் இருக்கிறது. திரவ நிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகளிடையே செயல்படும் மூலக்கூறு விசைகளும் இத்தன்மையுடையனவாகும்.

(iv) அணுக்கருத் துகள்களுக்கிடையே செயல்படும் பிணைப் பாற்றல் விசை, நிலைமின் விசை, புவி ஈர்ப்பு விசை போன்ற விசைகளைவிட மிகமிக அதிகமானது.

இந்தக் கருத்துகளை மனத்திற் கொண்டு, ஒரு திரவத் திவலை மாதிரியமைப்புக்கான விதி முறைகளைக் காண்போம்.

இரு அணுக்கருத் துகள்களுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையினாலான ஆற்றல் 'U' என்றால், இதை இரு துகள்கள் பங்கிட்டுக்கொள்வதால், ஒவ்வொரு துகளின் சராசரிப் பிணைப் பாற்றல் (Bond energy) $\frac{1}{2}U$ ஆகும். நெருக்கிப் பொதிக்கப்பட்ட ஒரு வடிவமைப்பில் ஒரு கோளத்தை அதே ஆரமுள்ள 12 கோளங்கள் சுற்றிலும் தொட முடியும். எனவே, உள்ளிருக்கும் இந்தக் கோளத்தை அணுக்கருத் துகளாகக் கொண்டால், சுற்றி யுள்ள மற்ற 12 அணுக்கருத் துகளுடன் பிணைப்புறும் மொத்த ஆற்றல்,

$$12 \times \frac{1}{2} U = 6\ U$$

அணுக்கருவினுள் உள்ள எல்லாக் கருத் துகள்களும் (A), அவைகளைச் சுற்றி 12-கருத் துகள்கள் சூழப்பட்டதாகக் கொண் டால், கிடைக்கும் மொத்தப் பிணைப்பு ஆற்றல்,

$$E_v = 6\ AU \qquad (7\cdot17)$$

ஆகும்.

E_v கொள்ளளவு ஆற்றல் (Volume Energy) என்றழைக்கப் படும்.

ஆயினும், எல்லாத் துகள்களும், 12-துகள்களால் சூழ்ந்திருக்க முடியாது. குறிப்பாகக் கருவின் மேற்பரப்பில் இருக்கும் துகள் களுக்குக் கண்டிப்பாக இத்துணை சூழ்துகள்கள் இருக்க முடியாது. இவ்வாறு சூழ்துகள்கள் இல்லாமல் போகும் துகள்களின்

எண்ணிக்கை, அந்தக் கருவின் மேற்பரப்பிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும் என்பது தெளிவு. மேலும்,

$$R = bA^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore \text{மேற்பரப்பு } 4\pi\ R^2 = 4\pi\ b^2\ A^{\frac{2}{3}} \qquad (7\cdot18)$$

எனவே, மேற்பரப்பில் அமையும் துகள்களின் எண்ணிக்கை, $A^{\frac{2}{3}}$க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே, சூழ்துகள்கள் குறைவால், கொள்ளளவு ஆற்றல் குறையும். இவ்வாறு குறையும் ஆற்றல் (E_s), $A^{\frac{2}{3}}$க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்குமெனச் சமன்பாடு (7·18)-ல் இருந்து தெரிகிறது.

$$\therefore\ E_s = -aA^{\frac{2}{3}} \qquad (7\cdot19)$$

a = மாறிலி

E_s பரப்பு ஆற்றல் (Surface Energy) எனப்படும்.

குறைந்த எண்ணிக்கைத் துகள்களைக் கொண்ட இலேசான அணுக்கருக்களில் E_s மிக அதிகமாக இருக்கும். ஏனெனில், பெரும் பாலான துகள்கள் மேற்பரப்பிலேயே காணப்படும். எந்த ஓர் இயற்பியல் செயலும், பெரும நிலைப்பாட்டை ஒட்டியே செயல் படும். ஆகையால், அணுக்கரு தன் துகள்களைப் பிணைத்து நிலைப் பாடுடையதாக இருக்கச் செய்யும் வடிவியலமைப்பைத்தான் கொண்டிருக்கும். குறிப்பிட்ட கொள்ளளவுக்குச் சிறும மேற்பரப்பு கொண்ட வடிவியலமைப்பு, ஒரு கோளமேயாதலால் அணுக்கரு ஒரு திரவத் திவலையைப்போலக் கோள வடிவமாக இருக்கும். அதாவது, மேற்பரப்பில் எப்பொழுதுமே ஓர் இறுக்கவிசை செயல் படும். இது திரவப் பரப்பு விசையை ஒத்தது.

கருவினுள் இருக்கும் புரோட்டான்கள், நிலைமின் எதிர்ப்பு விசையால் செயல்பட்டு ஒன்றையொன்று விலக்க முற்படும். எனவே, பிணைப்புக் குறையும். ஆகவே பிணைப்புக்கு எதிராகச் செயல்படும் இந்த ஆற்றலை (E_c) 'கூலும் ஆற்றல்' (Columb Energy) என்று கூறுவர். இந்த ஆற்றலின் மதிப்பைக் கணக்கிடுதல் எளிது. ஒவ்வொரு புரோட்டானும் மீதமுள்ள ($Z-1$) புரோட் டான்களின் கூலும் எதிர்ப்பு விசைக்கிடையில், வெளியிலிருந்து கருவுக்குள் கொண்டுவருவதாகக் கொண்டால், இந்தக் கூலும் ஆற்றல் $\frac{Z(Z-1)}{r}$ க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$\therefore \quad E_c \propto \frac{Z(Z-1)}{r}$$

$$\therefore \quad E_c \propto \frac{Z(Z-1)}{bA^{\frac{1}{3}}}$$

$$= c \, . \, \frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}}$$

c—மாறிலி

எனவே, மொத்தப் பிணைப்பாற்றல்

$$E_b = E_v + E_s + E_c \qquad (7\cdot21)$$

$$= bAU - aA^{\frac{2}{3}} - c \, . \, \frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} \qquad (7.22)$$

$\therefore$ ஒரு கருத் துகளுக்கான பிணைப்பாற்றல்

$$= \frac{E_b}{A}$$

$\therefore$ பிணைப்பாற்றல் $(B.E) = bU - \dfrac{a}{A^{\frac{1}{3}}} - c \, . \, \dfrac{Z(Z-1)}{A^{\frac{4}{3}}}$ (7.23)

ஒவ்வொரு கருவுக்கும் சமன்பாடு (7.23) லிருந்து கணக்கிடப் பட்ட பிணைப்பாற்றலுக்கும், அக் கருவினுள் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கைக்கும் (A) ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது படம் (7.2)ஐ ஒத்திருப்பது மெய்ப்பிக்கப்பட்டது.

திரவத் திவலை இயலமைப்பு மாதிரி, மிகச்சிறந்த முறையில் கருவின் சில பண்புகளை விளக்குகிறது.

(i) 1935-ல் வியஸ்சாகர் (Weizsacker) அணுக்கருவின் திரவத் திவலை இயலமைப்புக் கொள்கையைக் கொண்டு, ஐசோபார்களுக் கிடையே உள்ள ஆற்றல் தொடர்புகளையும், β^- சிதைவுறுதலில் கிடைக்கும் ஆற்றலையும் நன்கு விளக்கமுடியும் என்று எடுத்துக் காட்டினர்.

(ii) 1936-ல் நீல்ஸ் போர், பிரெய்ட் (Breit) மற்றும் விக்னர் (Wigner) இந்த மூன்று விஞ்ஞானிகளும் 'கூட்டு அணுக்கரு' என்ற கொள்கையை முன் வைத்து திரவத் திவலை மாதிரி யமைப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு அணுக்கரு செயல் வினைகளை விளக்க முடியும் என்று எடுத்துரைத்தார்கள்.

(iii) 1939-ல் நீல்ஸ் போரும் வீலரும் (Wheeler) திரவத் திவலை மாதிரியமைப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு 'அணுக்கருப் பிளவை' (Nuclear fission) என்ற அணுக்கரு வினை தோன்றும் காரணத்தைத் திறம்பட விளக்கமுடியும் என எடுத்துரைத்தனர்.

மேற்கூறிய காரணங்களால் அணுக்கருவின் திரவத் திவலை மாதிரியமைப்பு ஏறத்தாழ ஒப்புக்கொள்ளத்தக்க மெய்யான ஒன்று என்று மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. எனினும், இதில் சில இடர்ப்பாடுகள் தோன்றின. அணுக்கருவின் மிக முக்கியமான பண்புகள் சிலவற்றை இந்த மாதிரியமைப்பைக் கொண்டு விளக்க இயலவில்லை. அவையாவன,

(a) இரட்டைப்படை எண்ணிக்கைத் துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்கள் சிறந்த நிலைப்பாடுடையனவாக இருக்கின்றன. நிலவுலகில் கிடைக்கும் 272-நிலைப்பாடுடைய தனிமங்களில், 164 தனிமங்களின் அணுக்கருக்களும் இத்தகையதே.

(b) இரட்டைப்படை எண்ணிக்கையாகத் துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றல் மிக அதிகம்.

(c) 2, 10, 18, 36, 54 புற எலக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுக்கள், நிலைப்பாடுடையனவாகவும், அவற்றின் வேதியியல் செயல்வினை திறம் குறைந்ததாகவும் (Chemically inert) இருப்பது போல, அணுக்கருவும், குறிப்பிட்ட சில எண்ணிக்கை துகள்களைக் கொண்டால் அதன் பண்பும் நிலைப்பாடுடையதாக இருக்கிறது. குறிப்பாக 2, 8, 20, 28, 50, 82, & 126 கருத் துகள்களைத் தன்னகத்தே கொண்ட கருக்களின் நிலைப்பாடு மிகமிக அதிகம். இந்த எண்களைப் 'புதிர் எண்கள்' (Magic numbers) என்று குறிப்பிடுவதுண்டு.

(d) அணுக்கரு, ஒரு சுழற்சிக் கோண உந்தம் பெற்றிருக்கிறது. இந்தக் கோண உந்தம் அதனுள் அடங்கியிருக்கும் துகள்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தது என்று முன்பே அறிந்தோம்.

இவற்றில் ஒன்றைக்கூட, திரவத் திவலை மாதிரியமைப்பு கொண்டு விளக்க முடியவில்லை.

7.8.2 மண்டிலப் படிவ அமைப்பு (The Shell Model)

இதன் அடிப்படை அணுவின் வெக்டர், அணு மாதிரியைப் போன்றதே. எனினும், விசைப்புலஅமைப்பு (force field) முற்றிலும் மாறுபட்டது. கருத் துகள்களும், எலக்ட்ரானைப்போலவே வரை

யறுக்கப்பட்ட கோண உந்தம், காந்தத் திருப்புதிறன் முதலிய பண்புகள் பெற்றிருக்கின்றன. எனவே, எலக்ட்ரான்களைப் போலவே அவைகளும் வெவ்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களைப் பெற்றுத் தனித்தனியாக, ஒரு மைய விசைப்புலத்தால் பிணைப்புற்று இயங்குவதாகக் கொள்ளலாம். எனினும், எலக்ட்ரானுக்கு, மைய விசை தரும் கரு இருப்பது போல, கருத் துகள்களை ஈர்க்க மைய விசை ஏதும் கிடையாது. அவை குற்றெல்லை விசையால் ஒன்றுக்கொன்று பிணைப்புற்றிருக்கும். எனவே, J. J. தாம்சன் அணுமாதிரி (Thomson Atom Model) போன்ற ஒன்றை முன் மாதிரியாகக் கொண்டு குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் கருத் துகள்களின் ஆற்றல் மட்டங்களைக் காண இயலும். கருத் துகள்கள் அணுக்கரு ஈர்ப்பு விசைகளால் கட்டுண்டு ஒரு முப்பரிமாணச்சீரிசை அலையியற்றி (Three-Dimensional Harmonic Oscillator) போல் இயங்குகிறது என்று கொண்டால் இந்தச் சீரிசை அலையியற்றியின் ஆற்றல் மட்டங்களைப் (W) பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

$$W = (n + \tfrac{3}{2})\, h\nu \qquad (7.24)$$

n — மொத்தக் குவான்டம் எண் 1, 2......

ν — அதிர்வெண்

அணுவின் வெக்டர் மாதிரியமைப்பில் வரையறுத்தது போலவே குவான்டம் எண்களையும் இங்கு வரையறுக்கலாம்.

(i) முதன்மைக் குவான்டம் எண் (n) (Principal Quantum Number): ஒவ்வொரு துகளும் $n = 1, 2, 3$ போன்ற முழு எண் மதிப்புகளை மட்டுமே கொண்டிருக்கும். $n = \nu + l$ இதில் ν என்பது அதிர்விலாத் தள எண் (radial quantum number).

(ii) சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் (l) (Orbital Quantum Number): இது 0, 1, 2......என்று ($n-1$) மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும். $n=3$ என்றால், $l=0$, 1, 2 ஆகும். இதனுடன் பிணைந்த கோண உந்தம், சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தம் (p_l) என்று பெயர் பெறும். p_l-ன் மதிப்பு

$$p_l = \hbar \sqrt{l(l+1)} \text{ ஆகும்.}$$

l-ன் மதிப்பை, நிறமாலையியலில் குறிப்பிட்ட சில குறியீடுகளால் குறிப்பது வழக்கம்.

l	0	1	2	3	4	5	6
குறி	S	P	d	f	g	h	i

(iii) காந்தச் சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் (m_l) (Magnetic Orbital Quantum Number) : காந்தப் புலத்தின் திசையின்மீது வரையப்படும் சுற்றுப்பாதை வெக்டரின் வீழ்ச்சியின் முழு எண் மதிப்பையே (m_l) என்கிறோம். இது $-l$ மற்றும் $+l$ ஆகிய இரு எண்களுக்கும் இடைப்பட்ட $(2l+1)$ மதிப்புகளில் ஏதாவதொன்றைக் கொண்டிருக்கும்.

(iv) சுழற்சிக் குவான்டம் எண் (s) (Spin Quantum Number) : இதன் மதிப்பு எப்போதும் $\frac{1}{2}$ ஆகும். ஒரு கருத் துகளின் சுழற்சிக் கோண உந்தம்

$$p_s = \hbar \sqrt{s\,(s+1)}$$ ஆகும்.

(v) காந்தச் சுழற்சிக் குவான்டம் எண் (m_s) (Magnetic Spin Quantum Number) : காந்தப் புலத்தின் திசையின்மீது வரையப் படும் 'S' வெக்டரின் வீழ்ச்சிக்கு உரிய எண் மதிப்பு m_s எனப்படும். அடிப்படைத் துகள்களுக்கு m_s-ன் மதிப்பு $+\frac{1}{2}$ அல்லது $-\frac{1}{2}$ ஆகும்.

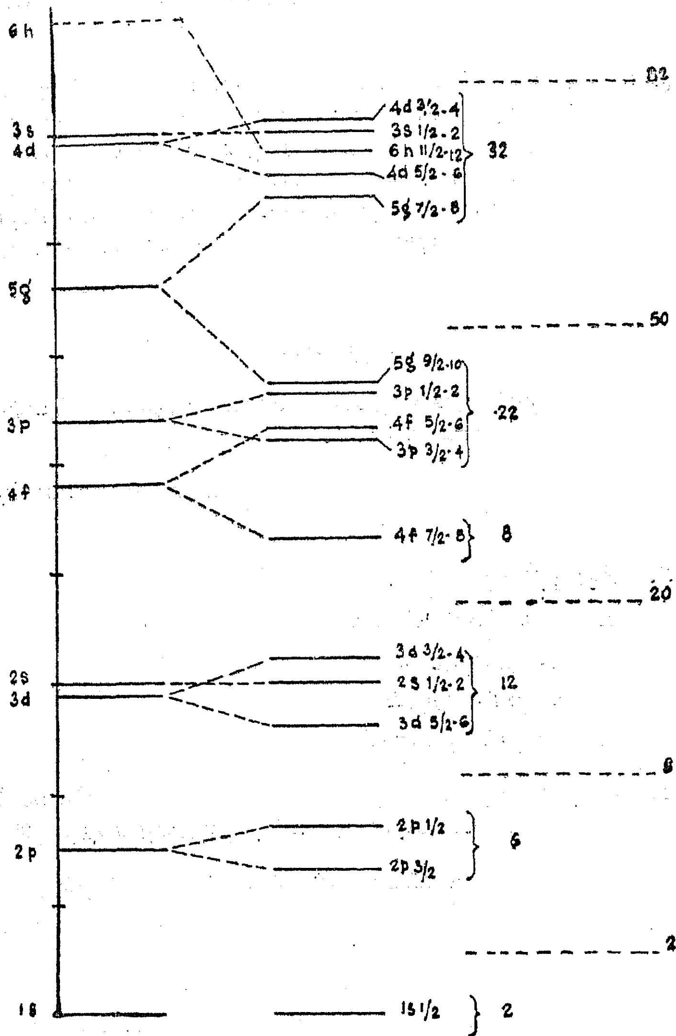
(vi) மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண் (j) (Total Orbital Angular Quantum Number) : ஒரு துகளின் மொத்தக் கோண உந்தத்திற்கான வெக்டர் $l+s$ அல்லது $(l-s)$ இருக்கும். எனவே, $j = l \pm s$ என்கிறோம். இந்த மொத்தக் கோண உந்தத்தின் மதிப்பு,

$$p_j = \hbar \sqrt{j\,(j+1)}$$ ஆகும்.

(vii) காந்த மொத்தக் கோண உந்தக் குவான்டம் எண் (m_j) (Magnetic Total Angular Momentum Quantum Number) : மொத்தக் கோண உந்த வெக்டராகிய j-க்கு, காந்தப்புலத் திசையின்மீது வரையப்படும் வீழ்ச்சியின் எண் மதிப்புதான் இது. m_j-ன் மதிப்பு அனுமதிக்கப்பட்ட நிலைகளான $(2j+1)$ மதிப்பில் ஏதாவது ஒன்றைக் கொண்டிருக்கும்.

மேற்கூறிய அடிப்படைக் கொள்கைகளைக் கருத்தில்கொண்டு, கருவின் மண்டிலப் படிவ அமைப்பை உருவாக்க முடியும். கருவின் ஒவ்வொரு மட்டமும் $(2j+1)$ துணைமட்டங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டத்திற்குக் கீழுள்ள எல்லா மட்டங்களும் துகள்களால் நிறைந்துபட்டால், அந்தக் கூடு நிரம்பியதாகச் சொல்கிறோம். நிரம்பிய இந்தக் கூடுகள்தான் 'புதிர் எண்' களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. படம் (7.4)-ல் அணுக் கரு ஆற்றல் மட்டங்களையும், அவை ஏற்கக் கூடிய துகள்களின் எண்ணிக்கைகளையும் குறிப்பிட்டு இருக்கிறோம்.

மண்டிலப் படிவ அமைப்பு, கருவின் சுழற்சி எண், அதன் கோண உந்தம் இவற்றைத் தெளிவாக விளக்குகிறது. இரட்டைப்



படம் 7,4

அணுக்கருவின் மண்டிலப் படிவ அமைப்பு

படைத் துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருவில், துகள்கள் பௌலியின் தவிர்ப்புக் கொள்கையின்படி (Pauli's Exclusion Principle)

சுழற்சிகள் ஒன்றுக்கொன்று எதிரெதிராக அமைந்த இணைகளாகி மொத்தக் கோணஉந்தம் சுழியாகிறது. ஒற்றைப்படைத் துகள்கள் கொண்ட கருவின் எஞ்சி நிற்கும் ஒரு துகளின் '$\frac{1}{2}$' கோண உந்தம் $\frac{1}{2}$ மடங்கு முழு எண்ணைத் தருகிறது.

இதுவரை நாம் இரு படிவ அமைப்புகளைப்பற்றியும் ஆராய்ந்தோம். ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு தனிச்சிறப்புடையது. ஆயினும், கருவின் சில தன்மைகளைத் திரவத் திவலை மாதிரியமைப்பும், வேறு சில தன்மைகளை மண்டிலப் படிவ அமைப்பும் விளக்குகிறது. எனவே, இவையிரண்டையும் இணைத்துப் புதிய படிவ அமைப்புகளை (Collective model) அமைக்க அறிவியலாளர்கள் முயன்று வருகிறார்கள்.

வினாக்கள்

1. ஓர் அணுக்கருவின் நிறை, அதன் பருமன் இவற்றை எவ்வாறு காணலாம்?

2. அணுக்கரு ஒன்றின் மின்னூட்டத்தைக் காண்பதெவ்வாறு?

3. சிறு குறிப்பு வரைக.
   (a) பொதிவுப் பின்னம்
   (b) நிறைகுறைபாடு
   (c) பிணைப்பாற்றல்
   (d) அணுக்கரு மாக்னெடான்.

4. அணுக் கருவின் (i) திரவத் திவலை மாதிரியமைப்பு, (ii) மண்டிலப் படிவ அமைப்பு இவற்றைப்பற்றி விவரி.

5. ${}_{17}Cl^{35}$-ன் பிணைப்பாற்றல் 290 *Mev* என்றால் அதன் நிறையைக் காண்.

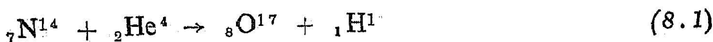
8. செயற்கைத் தனிம மாற்றமும் அணுக்கரு வினைகளும்

(Artificial Transmutation and Nuclear Reactions)

8.1 செயற்கைத் தனிம மாற்றம் கண்டுபிடிப்பு (Discovery of Artificial Transmutation)

வேதியியல் முறையில் செப்பு, ஈயம் போன்ற மதிப்புக் குறைந்த உலோகங்களைத் தங்கம், வெள்ளி போன்ற மதிப்பு மிக்க உலோகங்களாக மாற்றுவதில் பழங்கால வேதியியல் அறிவியலாளர்கள் மிக அதிகக் கவனம் செலுத்தினார்கள். எனினும், அவர்களால் அம் முயற்சியில் வெற்றி பெற முடியவில்லை. தனிம மாற்றம் என்பது ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கரு மற்றோர் அணுக்கருவாக மாற்றப்படுவதையே குறிக்கும். எனவே, அணுக்கரு என்றவொன்று கண்டுபிடிக்கும் வரையில் இவ்வாறு தனிம மாற்றம் செய்வதற்கு எடுத்துக்கொண்ட முயற்சிகள் எல்லாம் பயன்படாமல் போனது இயற்கையே. இயற்கைக் கதிரியக்கமும் ஒரு தனிம மாற்றமே. செயற்கைத் தனிம மாற்றம் என்பது ஒரு தனிமம் செயற்கை முறைகளால் தூண்டப்பட்டுச் சிதைவுற்று ஒரு புதிய தனிமத்தை உருவாக்குவதைக் குறிக்கும். அதிக நிறை பொருந்திய யுரேனியம், தோரியம் போன்ற அணுக்கருக்கள் தன்னிச்சையாகச் சிதைவுற்று, நிலையான ஒரு தனிம அணுக்கருவாக மாற்றமடைகின்றன என்று கண்டோம். இயல்பாக, நிலைத் தன்மை பெற்ற அணுக்கருவை, அதிவேகங் கொண்ட துகள்களால் தாக்கி, செயற்கை முறையில் உடைக்க இயலுமா என்ற கேள்வியை எழுப்பிய ருதர்ஃபோர்டு, அதற்குரிய ஆய்வுகளைத் தொடங்கினார். நைட்டிரஜன், அலுமினியம் போன்ற நிலைத் தன்மை பொருந்திய தனிமங்களை அதிவேகங் கொண்ட α-துகள்களை ஏவு துகள்களாகக் கொண்டு தாக்கி இந்த ஆய்வுகளில் 1919ஆம் ஆண்டு வெற்றி கண்டார்.

செயற்கைத் தனிம மாற்றம் ஏற்படுவதைக் காட்டுவதற்கு ரூதர்ஃபோர்டு கையாண்ட முறை வெகு எளியது. தேவைக் கேற்ற வாயுவைத் தேவைக்கேற்ற அழுத்தத்தில் நிரப்பக்கூடிய வசதி பொருந்திய ஒரு கண்ணாடிக் கலத்தின் ஒரு சுவரில் ஒளி மினு மினுப்பு ஏற்படுத்துவதற்குத் தேவையான சின்க் சல்ஃபைடு பூசப் பட்ட திரையைப் பொருத்தினர். அந்தத் திரைக்குஎதிரில் α-துகள் களை வீசக்கூடிய $_{84}Po^{214}$ கதிரியக்க மூலத்தை ஒரு தட்டில் வைத்து அது திரைக்கு முன்னால் வைக்கப்படும் தொலைவை மாற்றி யமைத்துக்கொள்ளத்தக்கவாறு அமைத்தார். முதலில் கலத்தினுள் ஆக்ஸிஜன், கார்பன் டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுவை நிரப் பினர். $_{84}Po^{214}$ யிலிருந்து வீசப்படும் α-துகள்களின் செல் தொலைவு, கொடுக்கப்பட்ட அழுத்தத்தில் 7 செ.மீ. என்றால், தட்டுக்கும் திரைக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு 7 செ.மீ.க்கு மதிகமானால், திரையில் மினுமினுப்பு ஏற்படுவதில்லை. ஏனெனில், α-துகள்கள் திரையை வந்தடைய முடியாது. ஆயினும், கலத்தில் ஆக்ஸிஜனுக்குப் பதிலாக நைட்டிரஜனைப் பயன்படுத்தினால், கதிரியக்க மூலத்தைக் கொண்ட தட்டிற்கும் திரைக்கும் இடையே யுள்ள இடைவெளி 40 செ.மீ.க்கும் அதிகமாக இருந்தபோதும், திரையில் மினுமினுப்புக் காணப்படுகின்றது எனக் காட்டினர் ரூதர்ஃபோர்டு. ஏவு α-துகள்கள் இந்தத் தொலைவு செல்வது இயலாது. மேலும், நைட்டிரஜன் வாயுவோடு தற்செயலாகக் கலந்திருக்கும் ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அணுக்கரு, ஏவு α-துகளோடு நேருக்கு நேர் ஒரு மீள்மோதுகைக்கு உட்படும்போது கூட ஹைட்ரஜனின் அணுக்கருவான புரோட்டான் 28 செ.மீ. தான் செல்தொலைவு கொண்டதாக இருக்கும் எனக் காட்டினர் அவர். மேலும், புரோட்டான்களோடு ஏவு ஆல்ஃபாத் துகள்கள் மோதினால், புரோட்டான்கள் α-துகள்கள் செலுத்தப்பட்ட திசை யிலேயே முன்னேக்கிச் செல்லும். எனவே, மினுமினுப்புக் குறிப் பிட்ட திசையில் அதிகமாக இருக்கும். ஆயினும், திரை முழுவதும் மினுமினுப்புச் சீராகப் பரவி இருப்பதை ரூதர்ஃபோர்டு எடுத்துக் காட்டினர். எனவே, இந்த மினுமினுப்புக்குக் காரணம் தற்செயலாகக் கலந்திருக்கும் ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அணுக்கரு வான புரோட்டான்கள் ஏற்படுத்துவதனால் அன்று என்றும் எடுத் துரைத்தார். ஆகவே, ஏவு α-துகள்கள் நைட்டிரஜன் வாயுவின் அணுக்கருக்குள் புகுந்து ஒரு தனிம மாற்றத்தை ஏற்படுத்து கின்றன என்றும், இதனால் வெளியேற்றப்படும் துகள்கள் மிக அதிக இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கின்றனவாகையால் திரையில் மினுமினுப்பை அவை ஏற்படுத்துகின்றன என்றும் வாதித்தார். இந்தத் தனிம மாற்றத்தைப் பின்வரும் அணுக்கரு வினை சமன் பாட்டில் குறிக்கலாம்.



$$ {}_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1} \qquad (8.1)$$

என்றும் உணர்த்தினர். இந்த அணுக்கரு வினையால் வெளிப்படும் புரோட்டானின் செல்தொலைவு 40 செ.மீ. அளவே இருக்கும் என்றும் கணக்கிடமுடிந்தது. இது ருதர்ஃபோர்டு செய்முறைச் சோதனைகளில் கண்ட செல்தொலைவை ஒத்திருக்கிறது. எனவே, ${}_{7}N^{14}$ என்ற நைட்டிரஜன் தனிமம், ${}_{8}O^{17}$ என்ற ஆக்ஸிஜனின் அரிய ஐசோடோப்பாக மாற்றமடைந்திருக்கிறது என்பது உறுதியாயிற்று.

இந்த மாபெரும் வெற்றியால் உற்சாகமடைந்த ருதர்ஃபோர்டும் அவரின் மற்றத் துணை ஆய்வாளர்களும், மேன்மேலும் முனைந்து போரான் முதல் பொட்டாசியம் ஈறாக (கார்பன், ஆக்ஸிஜன் நீங்கலாக — ${}_{8}O^{16}$, ${}_{6}C^{12}$ போன்ற தனிமங்களின் அணுக் கருத் துகள்களுக்கிடையே உள்ள பிணைப்பு ஆற்றல் மிக அதிக மென்றும், அவற்றை உடைக்க அதிக ஆற்றல் தேவைப்படு மென்றும் பிற்காலத்தில் தெரியவந்தது) பல இலேசான தனி மங்களையும் மாற்றமடையச் செய்யலாம் என்று நிரூபித்தார்கள்.

செயற்கைத் தனிம மாற்றம் மிக எளிதாகத் தென்பட்டாலும் செய்முறையில் பல இடர்ப்பாடுகளைக் கொண்டது. சிக்கலானதும், நுட்பமானதுமான பல வழிகளைக் கையாண்டுதான் செயற்கைத் தனிம மாற்றத்தை ஏற்படுத்தவோ ஏற்பட்டதை உணரவோ முடியும்.

(i) அணுக்கரு என்பதே மிகமிகச் சிறிய தொன்றாகும். அதனை நோக்கி ஏவப்படும் துகள்களோ, அதைவிடச் சிறியன வாகும். எனவே, ஏவு துகள்கள், அணுக்கருவினுள் புகும் நிகழ்ச்சியின் நிகழ்திறன் மிகமிகக் குறைவாகும். எனவே, தனிம மாற்றம் என்பது ஒரு மிக அரிய நிகழ்ச்சி. அந்த அரிய நிகழ்ச்சி ஏற்படுகின்றபோது உடனே அதை உணர வாய்ப்பு வேண்டும். அதற்கேற்ப உணர்கருவிகள் அமைத்தல் வேண்டும்.

(ii) அணுக்கருவைச் சுற்றி ஒரு மின்னழுத்த அரண் என்ற நேர்மின்புலம் உள்ளது. α-துகள்கள், புரோட்டான்கள் போன்ற நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள், அணுக்கருவை நெருங்கும் போது, அவை கூலும் விசையால் விலக்கப்படுகின்றன, அல்லது சிதறடிக்கப்படுகின்றன. எலக்ட்ரான்களை ஏவு துகள்களாகப் பயன்படுத்துவதனால், அவற்றின் ஓய்வுநிலை ஆற்றல் குறைவாக இருப்பதன் காரணத்தினால், சிறந்த பயன்களைப் பெற முடிவதில்லை. நியூட்ரான்கள் இந்த விதத்தில், அவற்றின் மின்னூட்டமற்ற தன்மையால் அதிகமாகப் பயன்படுகின்றன.

(iii) தகர்க்கப்பட்ட அணுக்கருவின் சிதைவுத் துண்டுகளின் நிறை அதிகமுடையதாக இருந்தால், அவை வெளியேறக்கூடிய இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கமாட்டா. எனவே, உணர் கருவிகள், இந்த நிகழ்ச்சியைக் கணிக்காமல்போய்விடுவதும் உண்டு. புரோட்டான், நியூட்ரான் போன்ற இலேசான துகள்கள் சிதைவுறுதலில் உருவாக்கப்பட்டால், அவை மூலத் தனிமத்திலிருந்து இயக்க ஆற்றலோடு வெளிவருமாதலால், உணர்கருவிகள் அவற்றை உணர இயலும்.

எனவே, இயக்க ஆற்றல் நிரம்பப் பெற்ற துகள்களை ஒரு பாய மாக இலக்கு அணுக்கருவை நோக்கி ஏவுவதன் மூலம் பல இடர்ப் பாடுகளைத் தவிர்க்கலாம். துகள் முடுக்கும் பொறிகளும், அணு உலைகளும் இந்த இரு முக்கியச் செயல்களைச் செயல்படுத்த உதவுகின்றன.

8.2 அணுக்கருச் சிதைவுறுதலும் போரின் கூட்டணுக்கரு கொள்கையும்

அணுக்கருச் சிதைவு இயக்கத்தை எளிதில் விளக்கக்கூடிய ஒரு கொள்கையை நீல்ஸ் போர் 1936ஆம் ஆண்டு எடுத்துரைத்தார். அதைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்:

அணுக்கருவில் அடங்கிய கருத் துகள்கள் மிக நெருக்க மான பிணைப்பையும் (close packing) அவைகளுக்கிடையே ஒரு குறுகிய எல்லைக்குள் செயல்படக்கூடிய வலிமை வாய்ந்த விசையையும் (short-range forces) கொண்டிருப்பதைக் கருத்திற் கொண்டு

(1) ஓர் அணுக்கரு ஏறத்தாழ ஒரு திரவத் துளியைப் (liquid drop) போன்றிருக்கின்றது என்றார் அவர்.

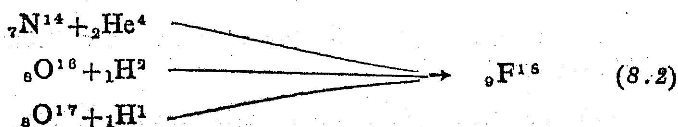
(2) ஓர் ஏவு துகள் அணுக்கருவைத் தாக்கும்போது, அந்தக் கரு ஏவு துகளைத் தன் வசப்படுத்திக்கொண்டு (capture) ஓர் இடை நிலைக் கூட்டு அணுக்கருவை (intermediate compound nucleus) உருவாக்குகின்றது. காட்டாக, ஓர் இலக்கு அணுக்கருவுக்குள் ஓர் α-துகள் சென்றால், பிறகு அந்த α-துகளின் தனித்தன்மை இழக் கப்பட்டுப் பொதுவாக மேலும் இரண்டு புரோட்டான்களும், இரண்டு நியூட்ரான்களும் சேர்க்கப்பட்ட ஒரு புதிய கூட்டு அணுக் கரு என்ற நிலைக்கு இலக்கு அணுக்கரு தாவுகிறது என்றார் அவர். ஒரு பெரிய திரவத் துளியில் மேலும் அதே திரவத் துளியைச் சிறிது சேர்ப்பது போலாகும் இது.

(3) ஏவு துகளின் இயக்க ஆற்றல். இப்பொழுது கூட்டணுக் கருவின் எல்லாத் துகள்களுக்கும் பங்கிடப்படுகிறது. இது திரவத் துளிகள் சூடேற்றப்படுவதை ஒக்கும். இப்பொழுது கூட்டணுக் கரு ஒரு குறைந்த நிலைப்பாடுடைய கிளர்ச்சி நிலைகளில் (quasi stationary excited states) இருக்கும்.

(4) கூட்டணுக் கருவின் ஒவ்வொரு துகளும் ஓரளவு இயக்க ஆற்றல் பெற்றிருந்தாலும் எந்த ஒரு தனித் துகளும் மற்றவற்றி லிருந்து தன்னை விடுவித்துக்கொள்ளுமளவிற்குப் போதுமான ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதில்லை. ஆயினும், இந்தத் துகள்கள் ஒன்றோடொன்று மோதி, இயக்க ஆற்றல் பரிமாற்றம் ஏற்பட்டு ஏதாவதொரு துகள் தன்னை விடுவித்துக்கொள்ளத் தேவையான ஆற்றல் இந்தப் பரிமாற்றத்தில் பெறமுடியுமானால், அந்தத் துகள் உடனே வெளியேறுகிறது. எனவே, அணுச் சிதைவு ஏற்படுகிறது. இந் நிகழ்ச்சி திரவத் துளியின் மேற்பரப்பிலிருந்து துகள்கள் சீராக ஆவியாதலை ஒத்திருக்கிறது.

ஒரு கூட்டணுக்கரு சிதைவுறுதல் ஏறத்தாழ இயற்கைக் கதிரியக்கச் சிதைவைப் போன்றதே. ஒரு கூட்டணுக்கருவின் சராசரி வாழ்வு நேரம் (τ) 10^{-14}—10^{-12} நொடிகளேயாகும். இது மிகவும் சிறிய நேரமாகத் தோற்றமளிக்கலாம். ஆயினும், கருத் துகள்கள் அணுக்கருவின் விட்டத்தைக் கடக்கும் நேரம் 10^{-21} நொடிகளாதலால், இந்த 10^{-14} நொடிக்குள் துகள்களுக்கிடையே பல மோதல்கள் ஏற்பட வழியுண்டு என்பது தெளிவு.

போரின் இந்தக் கொள்கைப்படி, ஒரு கூட்டணுக்கரு பல வழிகளில் ஏற்படலாம். காட்டாக, ${}_7N^{14}$, ${}_8O^{16}$ மற்றும் ${}_8O^{17}$ முறையே α-துகள், டியூட்ரான், புரோட்டான் இவைகளை உட்கவரும்போது ${}_9F^{18}$ என்ற கூட்டணுக்கரு உருவாகிறது.



$$\left.\begin{array}{l} {}_7N^{14}+{}_2He^4 \\ {}_8O^{16}+{}_1H^2 \\ {}_8O^{17}+{}_1H^1 \end{array}\right\} \longrightarrow {}_9F^{18} \qquad (8.2)$$

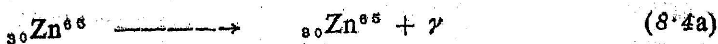
ஆயினும், ${}_9F^{18}$ என்ற ஒரு கூட்டணுக்கரு உருவாகியபின் அதன் பண்பு எந்த முறையில் அது உருவாகியது என்பதைப் பொறுத்ததன்று என்பதைத் தெளிவாக உணர வேண்டும். இதுபோலவே இந்தக் கூட்டணுக்கரு சிதைவுறும்போதும், கூட்டணுக்கரு உருவான முறையைப் பொறுத்ததாக இருக்காது.

அது சிதைவுறும் முறை அந்தக் கூட்டணுக்கரு பெற்றிருக்கும் கிளர்ச்சி ஆற்றலையே பெரிதும் சார்ந்திருக்கும். காட்டாக $_{30}Zn^{65}$ என்ற நிலைப்பாடில்லாத ஓர் இடைநிலைக் கூட்டணுக்கருவைப் பின் வரும் அணுக்கரு வினையால் பெறலாம்.

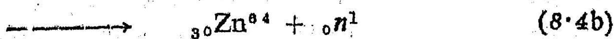


$$_{29}Cu^{63} + {}_1H^2 \rightarrow ({}_{30}Zn^{65}) \qquad (8\cdot3)$$

இந்தக் கூட்டணுக்கரு பின்வரும் எந்த வழியிலும் சிதைவுறலாம்.



$$_{30}Zn^{65} \longrightarrow {}_{30}Zn^{65} + \gamma \qquad (8\cdot4a)$$



$$\longrightarrow {}_{30}Zn^{64} + {}_0n^1 \qquad (8\cdot4b)$$



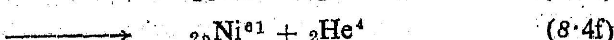
$$\longrightarrow {}_{29}Cu^{64} + {}_1H^1 \qquad (8\cdot4c)$$



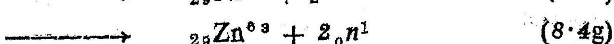
$$\longrightarrow {}_{29}Cu^{63} + {}_1H^2 \qquad (8\cdot4d)$$



$$\longrightarrow {}_{29}Cu^{62} + {}_1H^3 \qquad (8\cdot4e)$$



$$\longrightarrow {}_{29}Ni^{61} + {}_2He^4 \qquad (8\cdot4f)$$



$$\longrightarrow {}_{29}Zn^{63} + 2\,{}_0n^1 \qquad (8\cdot4g)$$

ஆயினும், இந்த ஒவ்வொரு சிதைவின் நிகழ்திறனும் கூட்டணுக்கருவின் இயக்க ஆற்றலைப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. ஆயினும், இந்தக் கூட்டணுக்கரு எந்த அணு வினை காரணமாக உருவாயிற்று என்பதைச் சிதைவு நிகழ்திறன் சார்ந்திருக்காது என்பதை மனத்திற் கொள்ள வேண்டும்.

8.3 அணுக்கரு வினையும் இயற்பியல் கொள்கைகளும்

ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கை, உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கை போன்ற சில பேருண்மைகள் இயற்பியல் இயக்கங்களில் மிகத் தெளிவாகக் கடைப்பிடிக்கப்படுகின்றன. பின்வரும் இயற்பியல் அழிவின்மைக் கொள்கைகள், அணுக்கரு வினை நிகழ்ச்சிகளில் கடைப்பிடிக்கப்படுகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

(1) நிறை-ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Mass-energy).

(2) உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Momentum).

(3) தற்சுழற்சி அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Spin & Statistics).

(4) கோண உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Angular Momentum).

(5) ஐசோபாரிக் சுழற்சி அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Isobaric Spin).

(6) பாரிடி அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Parity).

(7) கருத் துகள் அழிவின்மைக் கொள்கை (Conservation of Nucleous).

β-கதிரியக்கம் போன்ற மெல்லிய இடையீட்டு நிகழ்ச்சியில் (weak interaction) பாரிடி அழிவின்மைக் கொள்கை தோல்வியடைகிறது. மேலும் ஒரு நேர்க்குறியுடைய கருத் துகள் உருவானால் (positive energy state nuclear particle) அதே நேரத்தில் ஏதோ ஓர் இடத்தில் அதே துகளின் எதிர்க்குறித் துகள் உருவாக்கப்படுகிறது என்பது (7ஆவது) கொள்கையின் சாரமாகும். அதாவது, பேரண்டத்திலுள்ள ஒவ்வொரு நேர்க்குறித் துகளுக்கும் ஓர் எதிர்க் குறித் துகள் எப்பொழுதும் உருவாகிக்கொண்டிருக்கிறது என்று கொள்ளலாம். காட்டாக, ஒரு புரோட்டான் நியூட்ராணுக அணுக்கரு வினையால் மாற்றப்பட்டால், அதே நேரத்தில் ஓர் எதிர்க்குறி புரோட்டான், ஓர் எதிர்க்குறி நியூட்ராணுகவும் மாறுகிறது என்று கொள்வது மரபு. இதற்கு ஆதாரம் ஏதும் இல்லாவிடினும், இந்தக் கொள்கை, அணுக்கருவின் விசைகளைப்பற்றி அறியத் தேவையான கணக்கீடுகளை எளிதாக்குகிறது.

8.4 அணுக்கரு வினைகளில் நிறை - ஆற்றல் சார்புடைமை

ஓர் அணுக்கரு வினையைக் குறிக்கும் சமன்பாடு (8·1)ஐ மேலும் ஆராயலாம். இது ஏறத்தாழ ஒரு வேதியியல் வினையைப்போன்ற சமன்பாடேயாகும். இந்தச் சமன்பாடு தன்னிடத்தே பல தகவல்களைக் கொண்டுள்ளது. அதில் மிக அவசியமானதும், புதிய கருத்துகளுக்கு வித்திட்டதுமான நிறை-ஆற்றல் சார்புடைமையைக் காண்போம். ஒரு பொருளின் நிறையை ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் கொள்கைப்படி ஓய்வுநிலை ஆற்றலாகக் கொள்ளலாம். எனவே, எந்த ஒரு தனிம மாற்ற நிகழ்ச்சியும் ஐன்ஸ்டீனின் நிறை ஆற்றல் சார்புடைமையைத் துல்லியமாகக் கடைப்பிடித்தேயாக வேண்டும்.

x என்ற ஏவு துகள் X என்ற இலக்கு அணுக்கருவுடன் மோதி, ஒரு கூட்டணுக் கரு [C] உருவாகி, பின்பு அந்தக் கூட்டணுக்கரு சிதைவுற்று, y என்ற ஒரு துகள் வெளியேற்றப்பட்டு Y என்ற சேய்க்கருவாகத் தனிம மாற்றம் அடைகிறது எனக் கொள்வோம்.

போரின் கொள்கைப்படி

$$x + X \rightarrow [C] \rightarrow Y + y \qquad (8{\cdot}5)$$

எந்த ஒரு தனிமத்தின் இயக்கநிலை ஆற்றலும், அதன் ஓய்வுநிலை ஆற்றலும் இயக்க ஆற்றலும் சேர்ந்ததொன்றாகும். எனினும், இலக்கு அணுக் கரு ஓய்வுநிலையிலேயே இருப்பதால் அதன் இயக்க ஆற்றல் '0' ஆகும். எனவே, நிறை ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி சமன்பாடு (8.5) ஐப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்

$$(E_x + m_x c^2) + M_X c^2 = (E_Y + M_Y c^2) + (E_y + m_y c^2) \quad (8{\cdot}6)$$

m_x, M_X, M_Y, m_y முறையே ஏவு துகள், இலக்கு அணுக்கரு, சேய் அணுக்கரு, வெளிவரும் துகள் ஆகிய இவற்றின் நிறையையும் E_x, E_Y, E_y முறையே ஏவு துகள், சேய் அணுக்கரு, வெளிப்படும் துகள் ஆகியவற்றின் இயக்க ஆற்றலையும் குறிக்கும். சமன்பாடு (8·6) ஐப் பின்வருமாறு மாற்றி அமைக்கலாம்.

$$[(M_X + m_x) - (M_Y + m_y)]\, c^2 = (E_Y + E_y - E_x) \qquad (8{\cdot}7)$$

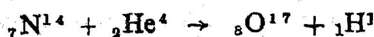
இதில் $(E_Y + E_y - E_x)$ ஐ, Q என்று குறிப்பிட்டால் (8·8)

$$Q = [(M_X + m_x) - (M_Y + m_y)]\, c^2 \qquad (8{\cdot}9)$$

எனவே, அணுக்கரு வினையைத் தொடங்கும் துகள்களின் நிறைகளின் கூட்டுத் தொகைக்கும், வினையிலிருந்து கிடைக்கப்பெறும் துகள்களின் நிறைகளின் கூட்டுத் தொகைக்குமுள்ள நிறை வேறுபாடு Q என்று குறிக்கப்படுகின்ற ஆற்றல் சரியீடு (energy balance) எனப்படும்.

Qவின் மதிப்பு (+) என்றால், வினையால் கிடைத்த துகள்களின் மொத்த நிறை வினை தொடங்கும் துகள்களின் மொத்த நிறையை விடக் குறைவாகும். இதுபோன்ற Qவின் மதிப்பு '+' ஆக இருக்கும் அணுக்கரு வினைகள் ஆற்றல் வெளியிடு விளைவு வினைகள் (exoergic reaction) எனப்படும்.

Qவின் மதிப்பு (−) என்றால், அவ்வினை ஆற்றல் உட்கவர் விளைவு வினை (endoergic reaction) எனப்படும். எனவே, Q-ன் மதிப்பைக் காணுதல் மூலம் அணுக்கருத் துகள்களின் நிறையை மிகத் துல்லியமாக அறியமுடியும். காட்டாகச் சமன்பாடு (8·1)ஐ எடுத்துக் கொள்வோம்.



$$_7N^{14} + {_2He^4} \rightarrow {_8O^{17}} + {_1H^1}$$

இதில் அணுக்கருக்களின் நிறைக்குப் பதிலாக அணுவின் நிறையையே எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஏனெனில், எலக்ட்ரான்களின் நிறை இருபக்கங்களிலும் இருப்பதால் நிறை சரியீட்டைப் பாதிக்காது.

$$M_X = ({}_7N^{14})\text{-ன் நிறை} = 14.003074\ a.m.v.$$

$$m_x = ({}_2He^4)\text{-ன் நிறை} = 4.002604\ a.m.v.$$

$$M_Y = ({}_8O^{17})\text{-ன் நிறை} = 16.999133\ a.m.v$$

$$m_y = ({}_1H^1)\text{-ன் நிறை} = 1.007825\ a.m.v.$$

எனவே, Q-ன் மதிப்பு = − 0.001280 *a.m.v.* (−1.19 *Mev*) ஆகும். எனவே, இது ஓர் ஆற்றல் உட்கவர் விளைவு வினையாகும். அதாவது, இந்த அணுக்கரு வினை நிகழவேண்டுமானால், 0.001281 *a.m.v.* நிறைக்குச் சமமான (1.19 *Mev*) ஆற்றலை யாவது ஏவு துகள்கள் இயக்க ஆற்றலாகப் பெற்றிருக்க வேண்டும். எனவே, பொதுவாக அணுக்கரு வினை விளைவைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிப்பிடுவது மரபு.



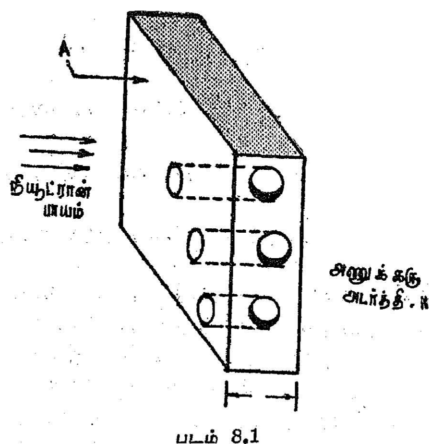
$$X + x \longrightarrow [C] \longrightarrow Y + y + Q \qquad (8.10)$$

8.5 அணுக்கரு வினை வாய்ப்புகள் (Reaction Cross Sections)

ஓர் அணுக்கரு வினை நிகழக்கூடிய வாய்ப்பினை அளவிட்டு அறிவது மிக அவசியமாகிறது. காட்டாக, சமன்பாடு 8.4-ல் ${}_{30}Zn^{65}$ என்ற கூட்டணுக்கரு சுமார் ஏழு முறைகளில் சிதைவுறுகிறது என்று கண்டோம். ஒவ்வொரு வினைக்குமுள்ள நிகழ்திறனை ஏதாவதொரு முறையில் கணக்கிடல் மிகமிக அவசியமாகும். இந்தக் கணக்கிடல் முறையையே வினை வாய்ப்பு (reaction cross section) என்கிறோம். அது σ என்று குறிப்பிடப்படும் ஏவு துகள் ஒன்றிற்கு இலக்கு அணுக்கரு அளிக்கும் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு அல்லது இலக்குப் பரப்பு (cross-sectional area or target area)தான் வினை வாய்ப்பு என்று கருதப்படுகிறது. ஏவு துகள்கள் ஒரு பாயமாக இலக்கு அணுக்கருவையுடைய தனிமத்தைத் தாக்குகின்றன என்று கொள்வோம் (படம் 8.1). அணுக்கருக்களை R-ஆரங் கொண்ட கோளங்களாகக் கருதுவோமேயானால் ஓர் இலக்கு அணுக்கரு அளிக்கும் இலக்குப் பரப்பு அல்லது வாய்ப்பு σ,

$$\sigma = \pi R^2 \text{ ஆகும்.} \qquad (8.11)$$

எடுத்துக்கொண்ட மெல்லிய ஏட்டின் தடிமம் 't' என்றும், அந்தத் தனிமத்தின் அணுக்கரு அடர்த்தி ஒரு கன செ. மீக்கு N அணுக் கருக்கள் என்றால், மோதலுக்குள்ளாவதற்கான மொத்தக்



படம் 8.1

அணுக்கரு வினைவாய்ப்பு விளக்கம்

கருக்கள் யாவும் நேர்குத்துத் திசையில் அளிக்கும் மொத்த இலக்குப் பரப்பளவு $Nt \times \pi R^2 = Nt \cdot \sigma$ ஆகும்.

எனவே, இயக்குத் தனிமப்படலத்தை நோக்கி, ஏவு துகள்கள் செகண்டுக்கு ஒரு கன செ. மீட்டருக்கு 'n' துகள்களும் 'v' திசை வேகம் கொண்டதாகவும் ஆன ஒரு பாயமாகச் சென்று மோதுமானால், ஒரு சதுர செ. மீட்டர் பரப்பளவு இலக்கு ஏட்டில் மோதக்கூடிய ஏவு துகள்களின் எண்ணிக்கை ஒரு செகண்டுக்கு 'nv' ஆகும். எனவே, ஒரு நொடியில் ஒரு ச.செ. மீட்டரில் ஏற்படக்கூடிய மோதுதலின் நிகழ்திறன்

$$= \text{ஏவு துகள்களின் பாயம்} \times \text{இலக்குப் பரப்பு}$$

$$= (nv) \times (\sigma\, Nt)$$

$$= nv\, \sigma\, Nt \qquad (8.12)$$

$$\therefore \; \begin{matrix}\text{மோதல்} \\ \text{வாய்ப்பு } (\sigma)\end{matrix} = \left\{ \frac{\text{ஒரு விநாடியில் ஒரு க.செ.மீ. பருமனில் நிகழும் மோதல்கள்}}{(nv) \times (Nt)} \right. \qquad (8.13)$$

சமன்பாடு (8.12)-ல் σ-ன் பரிமாணம், பரப்பளவுக்கான (L^2) பரிமாணத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. எனவே, வாய்ப்புப் பொதுவாகப் பரப்பளவுக்கான அலகில் குறிக்கப்படுகிறது.

$\sigma = \pi R^2$ என்ற சமன்பாட்டைக் கருத்தில்கொண்டு, σ-ன் அளவை ஓரளவு உணரலாம்.

$R = bA^{\frac{1}{3}}$ என்ற சமன்பாட்டில் (சமன்பாடு 7.3)

$b = 1.5 \times 10^{-13}$ செ.மீ. $A = 100$ என்ற தனிமத்திற்கு,

$$\sigma = \pi \times \left[(100)^{\frac{1}{3}} \times 1.5 \times 10^{-13}\right]^2 \text{ ச.செ.மீ.}$$

$$= 1.7 \times 10^{-24} \text{ ச. செ. மீ.}$$

$$\sigma = 1.7 \times 10^{-28} \text{ ச. மீட்டர்கள்.}$$

எனவே, σ-ன் மதிப்பை 10^{-28} ச. மீட்டர்கள் என்ற ஓர் அலகால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இந்த அலகு 'பாண்' (Barn) எனப்படும்.

1 பாண் $= 10^{-28}$ ச. மீட்டர்கள்.

எனவே, எந்த ஓர் அணுக் கரு வினைக்கும், ஒரு வாய்ப்பு (σ) இருக்கும். காட்டாக, காமாக் கதிர் ஒரு பருப்பொருளோடு செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது அது தன் ஆற்றலை மூன்று வழிகளில் இழக்கிறது. குறிப்பிட்ட ஆற்றல் பகுதிகளில் குறிப்பிட்ட ஒரு முறையில்தான் பெரும்பாலும் தன் ஆற்றலை இழக்கிறது என்று கண்டோம். இதையே வாய்ப்பு என்றும் கூறலாம். அதாவது காமாக் கதிர் தன் ஆற்றலை இழக்க, மூன்றுவித வாய்ப்புகள் (i) σ காம்ப்டன், (ii) σ ஒளிமின், (iii) σ இரட்டையாக்கம் இருக்கின்றன எனக் கூறலாம்.

வாய்ப்பு என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட சூழ்நிலையில் குறிப்பிட்ட வினை நிகழும் எண்ணிக்கையைக் குறிப்பிடுவதாகக் கொள்வது. முறையே ஓர் அணுக்கரு வினையைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியின் முடிவுகளை அந்த ஆராய்ச்சி மேற்கொள்ளப்பட்ட சூழ்நிலையில் நிகழும் அத்தகைய வினையின் வாய்ப்பின் அடிப்படையில் குறிப்பிடுதல் நலம். இது தேவையான அரை வாழ்வு கொண்ட செயற்கைக் கதிரியக்கத் தனிமங்களைத் தயாரிக்கவும், அணுக்கருப்

பிளவையைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு ஏற்ற சாதனங்களை அமைத்துக்கொள்ளவும், மற்றும் பல அணுக்கரு வினைகளை ஓரளவுக்கு முன்கூட்டியே தெரிந்துகொள்ளவும் பெரிதும் உதவுகிறது.

8.6 அணுக்கரு வினைகள்—I. பொதுவான சில பிரிவுகள்

அணுக்கரு வினைகளைக் காண முதலில் அவற்றை ஏதாவதொரு முறையில் ஒழுங்குபடுத்திப் பயிலுதல் நலம்.

(i) பொதுவான சில கோட்பாடுகளை ஒட்டி விளையும் வினைகளை வரிசைப்படுத்திப் பயிலுதல் ஒரு முறை.

(ii) ஏவு துகள்களின் பண்பையும், அவற்றின் ஆற்றலையும் கருத்தில் கொண்டு வரிசைப்படுத்துதல் மற்றொரு முறை.

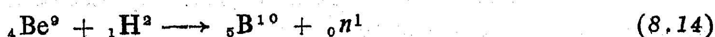
(iii) மேலும், நியூட்ரானின் செயலெதிர்ச் செயல் பண்புகளைத் தனியாகவும் ஆழமாகவும் பயிலுதல் மிக அவசியமாகிறது. முதலில் நாம் சில பொதுப் பிரிவுகளைப் பார்ப்போம்.

8.6·1 பதிலிடு வினைகள் (Substitutional Reactions)

இலக்கு அணுக்கரு ஓர் ஏவு துகளை உட்கவர்ந்ததும், ஏற்படும் கூட்டணுக்கரு, அணுக்கருவின் கிளர்ச்சி மட்டங்களில் ஒன்றையடைந்து, பின்னர், ஒரு புதிய துகள் வெளியேற்றப்படுகிறது. எனவே, வெளியேற்றப்பட்ட துகளுக்குப் பதிலாக இடப்பட்ட துகளாக, ஏவு துகளைக் கருதலாம். இதுபோன்ற விளைவுகளைத் தான் பதிலிடு வினைகள் என்கிறோம். இவ்வித வினைகளைப் பற்றிய ஆய்வு அணுக்கருவின் கிளர்ச்சி மட்டங்களையறிய உதவுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு,

ஒரு பெரிலிய இலக்குத் தனிமத்தை, டியூட்ரானைக்கொண்டு தாக்கினால், ஒரு நியூட்ரான் வெளிப்படுகிறது.



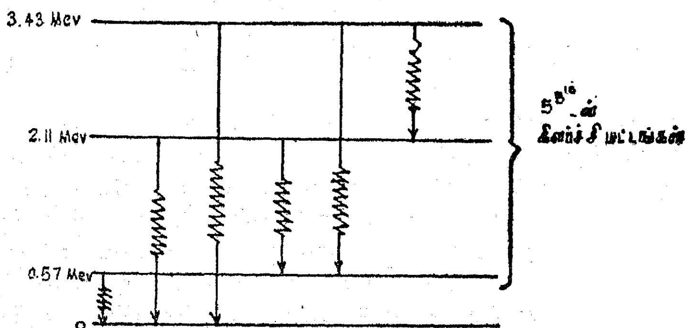
$$_4Be^9 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_5B^{10} + {}_0n^1 \qquad (8.14)$$

ஒரு குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றல் கொண்ட $_1H^2$ துகள்களினால் வினை தொடங்கி வெளிவீசப்படும் நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் ஒரே அளவுடையதாக இல்லாமல் நான்கு வெவ்வேறு இயக்க ஆற்றல் பெற்றதாயிருக்கிறது என்று பானர் (Bonner), புருபேக்கர் (Brubaker) இருவரும் கண்டனர். அதாவது *Q*, *0.82 Mev*, *2.14 Mev*, *3.68 Mev*, *4.25 Mev* என்ற நான்கு மதிப்புகளைக்கொண்டு இருந்தது. *Q*-ன் பெரும மதிப்பு, சேய்

அணுக்கரு $_5B^{10}$, தன் புவிநிலையை யடைந்ததைக் குறிக்கும். எனவே, Q-ன் மதிப்புக் குறைந்து தோன்றுகின்ற வினைகள், சேய் அணுக்கரு, கிளர்ச்சி நிலையில் விடப்பட்டதைக் குறிக்கும். காட்டாக, Q-ன் மதிப்பு 0.82 *Mev* என்றால், (4.25—0.82) *Mev* = 3.43 *Mev* ஆற்றலைச் சேய்க்கரு தன்னிடத்தே பெற்றுக் கிளர்ச்சி மட்டங்களில் ஒன்றில் விடப்பட்டிருக்கிறது எனலாம். இதுபோலவே, மற்றக் கிளர்ச்சி மட்டங்களின் ஆற்றலும் $_5B^{10}$—ன் புவிமட்டத்தைவிட 2.11 *Mev*, 0.57 *Mev* அதிகமானதாகும். எனவே, வினை முடிந்தவுடன், சேய் அணுக்கரு தன் கிளர்ச்சி மட்டத்திலிருந்து தன் புவிமட்டத்திற்கு வந்தடைய, காமாக் கதிர்களை உடன் வீசுகிறது (படம் 8.2). இவ்வாறு காமாக் கதிர்கள் உடன் வீசப்படுவது செய்முறைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டது.

.6·2 கதிர்வீசு வினைகள் (Radiative Capture Reactions)

ஓர் ஏவு துகள், ஓர் இலக்கு அணுக்கருவை நோக்கித் தாக்கும் போது, ஏற்படும் வினையால் ஏதாவதொரு துகள் வெளியேற வேண்டும் என்ற நியதி ஒன்றுமில்லை. ஏவு துகளை, இலக்கு

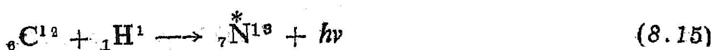


படம் 8.2

$_5B^{10}$ன் கிளர்ச்சி மட்டங்கள்

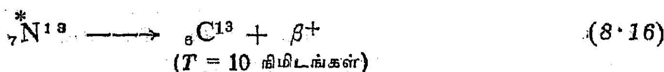
அணுக்கரு தன்னுள் வசப்படுத்திக்கொண்டு, சேய்க்கரு தன்னை நிலைப்படுத்திக்கொள்ள முடியும். அல்லது, தன்னுடைய புவி மட்டத்திற்குத் தேவையான ஆற்றலைவிட எஞ்சி நிற்கும் ஆற்றலை காமாக்கதிராக வெளியேற்றுவதன் வாயிலாக இழந்து, தன்னை நிலைப்படுத்திக்கொள்வதும் உண்டு. இந்த வகை வினை 'கதிர் வீசு வினை' எனப்படும். இம்முறையில் காமாக் கதிரைத் தவிர

வேறு துகள் வெளியேறுவதில்லை. இவ்வகை அணுக்கரு வினையை காக்ராப்ட் என்பவர் 1934ஆம் ஆண்டு முதன் முதலில் கண்டு பிடித்தார்.



$$_6C^{12} + {}_1H^1 \longrightarrow {}_7\overset{*}{N}^{13} + h\nu \qquad (8.15)$$

* இந்தக் குறி சேய்க்கருவான $_7N^{13}$ கிளர்ச்சி பெற்ற நிலையி லிருப்பதைக் குறிக்கும். பிறகு இந்தக் கரு, கதிரியக்கம் மூலமாகப் பாசிட்ரானை வெளியேற்றி நிலைபெறுகிறது.

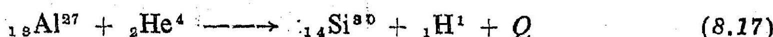


$$_7\overset{*}{N}^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + \beta^+ \qquad (8\cdot16)$$

($T = 10$ நிமிடங்கள்)

8.6·3 ஒத்திசைவுச் சிதைவு (Resonance Disintegration)

1929ஆம் ஆண்டு போஸ் (Pose) என்பவர் இவ்வகைச் சிதைவு ஏற்படுவதைக் கண்டுபிடித்தார். பொலோனியத் தனிமத்திலிருந்து வீசப்படும் α-துகள்கள் தடிமம் மிக்க அலுமினியத் தட்டினூடே செல்லும்படி அமைத்தார் அவர். α-துகள்கள் தன் ஆற்றல் முழுவதையும் சிறிது சிறிதாக அலுமினிய இலக்குக்குள்ளே இழந்து முற்றும் நிறுத்தப்பட்டுவிடுகிறது. எனவே,



$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1H^1 + Q \qquad (8.17)$$

ஏவு α-துகள்களின் இயக்க ஆற்றல் அலுமினியத் தனிமத்தில் தொடர்ந்து குறைந்துகொண்டே வருவதால், வெவ்வேறு ஆழத்தில் செயலெதிர்ச் செயல்பட்ட α-துகள்களினால் ஏற்படும் அணுக்கரு வினையால் வெளியேறும் புரோட்டான்களின் இயக்க ஆற்றலும் ஒரு தொடர்மாலையாக இருக்கவேண்டும் என்று எதிர் பார்க்கப்பட்டது. அவ்வாறில்லாமல் புரோட்டான்களின் இயக்க ஆற்றல் தனித்தனியான குறிப்பிட்ட ஆற்றல் (Discrete Energy) பெற்றிருப்பதைக் காண முடிந்தது. எனவே, குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றலைப் பெற்ற α-துகள்களே, இந்த வித ஒத்திசைவு வினைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன எனலாம். இந்தவகை வினையை, குர்னி (Gurney) என்பவர் பின்வருமாறு விளக்கினார்.

ஏவு துகள்களின் ஆற்றல், கூட்டணுக்கருவின் மொத்த ஆற்றல் ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய கிளர்ச்சி மட்டங்களின் (quasistationary excited states) நிலைக்கு அருகில் இருக்கும் வகையில் இருந்தால் உடனே, கூட்டணுக்கரு அமையும் வண்ணம் உட்கவர் வாய்ப்பு அதிகமாக இருக்கிறது. எனவே, அணுக்கரு வினையின் நிகழ்திறன்

இவ்வாறு ஒத்திசைவு ஆற்றல் பெற்ற α-துகள்களுக்கு மிக அதிக மாகவும், வேறு ஆற்றல் பெற்ற α-துகள்களுக்குக் குறைவாகவும் இருக்கிறது. ஆகவே குறிப்பிட்ட சில இயக்க ஆற்றல் கொண்ட α-துகள்களே இவ்வித வினையைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

8.6·4 பரிமாற்று வினைகள் (Exchange Reactions)

சில இலக்கு அணுக்கருக்களை டியூட்ரான் துகள்களைக் கொண்டு தாக்கும்போது வெளிவீசப்படும் புரோட்டான்கள் ஒரு புதிய வினையால் உருவாக்கப்பட்டவையாகவும் இருக்கலாம் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்தப் புதிய வினைக்குப் பரிமாற்று வினைகள் என்றும், ஒபன்ஹைமர் - பிலிப்ஸ் வினைகள் என்றும் கூறுவர். ஒபன்ஹைமர், பிலிப்ஸ் (Oppenheimer and Philips) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளும் இதுபோன்ற வினை ஏற்படுவதைப் பின்வருமாறு விளக்கினார்கள். டியூட்ரான் என்பது, ஒரு புரோட்டா னையும், ஒரு நியூட்ரானையும் தன்னகத்தே கொண்ட துகளாகும். இந்தத் துகள் ஓர் இலக்கு அணுக்கருவை மோதும்போது, இலக்கு அணுக்கருவின் மின்புலத்தோடு, செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு, டியூட் ரான், புரோட்டானாகவும், நியூட்ரானாகவும் பிரிந்துவிடுதல் கூடும்: அப்போது, நியூட்ரான் தன் மின்னூட்டமற்ற தன்மை காரணத் தால், இலக்கு அணுக்கருவினுட்புக இயலும். ஆயினும், மின் னூட்டம் உடைய புரோட்டானோ, கூலும் விசையால் விலக்கப் பட்டுச் சிதறுதலுறும். எனவே, இந்தவித வினையில் கண்டுணர்ந்த புரோட்டான் உண்மையில் இலக்கு அணுக்கருவிலிருந்து வெளிப் பட்டது அன்று. இலக்கு அணுக்கரு தன்னுட்புகுந்த நியூட்ரானை வசப்படுத்திக்கொள்ளும். எனவே, இந்த வினை ஒரு பகுதி உட்புகு (partial entry) வினையாகக் கருதப்படும். இந்த வகை வினை செய்ல்படுவது ஏன் என்பது பின்வரும் காரணங்களால் விளங்கும்.

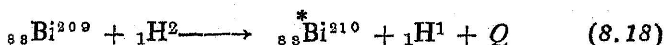
(1) இலக்கு அணுக்கருவின் மின்னழுத்த அரணை டியூட்ரானை விட நியூட்ரானால் எளிதில் ஊடுருவ முடியும்.

(2) ஒரு டியூட்ரான் துகளை ஒரு புரோட்டானாகவும், ஒரு நியூட்ரானாகவும் வேறுபடுத்தத் தேவையான ஆற்றல் 2.2 *Mev* ஆகும். இந்த ஆற்றலை இலக்கு அணுக்கருவின் மின்புலத்தோடு செயலெதிர்ச் செயல்படுவதன் மூலம் பெறமுடியும்.

(3) இந்தவகையில் டியூட்ரானைப் பிரிக்கத் தேவையான ஆற்றலை, அதிக அணு எண் கொண்ட ($A>100$) அணுக்கருக்களால் தான் முடியும்.

(4) குறைந்த திசைவேகமுடைய டியூட்ரான்கள் மிக அதிக நிறையையுடைய இலக்கு அணுக்கருவை நோக்கித் தாக்கும் போது, பொதுவாகப் பரிமாற்று வினையே நடைபெறுகிறது.

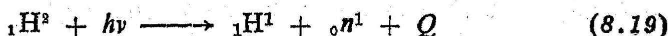
எடுத்துக்காட்டு.



$$_{83}Bi^{209} + _1H^2 \longrightarrow {}_{83}\overset{*}{Bi}{}^{210} + _1H^1 + Q \qquad (8.18)$$

8.6·5 ஒளிபயன் வினைகள் (Photo Disintegration)

மிக அதிக ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிர்களால் தாக்குண்டு ஓர் அணுக்கரு சிதைவுறுதல் உண்டு என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது ஒளிமின் விளைவு போன்றதொன்றாகும். இவ்வித வினை செயல்படக் காமாக் கதிரின் ஆற்றல், வெளியேற்றப்படும் துகளின் பிணைப்பாற்றலைவிட அதிகம் இருத்தல் வேண்டும். இலக்கு அணுக் கருவைத் தாக்கும் காமாக் கதிரின் ஆற்றலைச் சிறிதுசிறிதாக அதி கரித்தால், குறிப்பிட்ட ஒரு பயன் தொடக்க ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிர் கரு வினையைத் தோற்றுவிக்கிறது. பிறகு மேலும் ஆற்றல் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க இந்த வினை ஏற்படும் வாய்ப்பும் அதிகரிக்கிறது. இந்த வித வினை தொடங்கத் தேவையான பயன் தொடக்க ஆற்றல், வெளிவீசப்படும் துகளின் ஆற்றலைப்போல் இருமடங்காக இருக்கிறது என்று கண்டுபிடித்துள்ளார்கள். சாட்விக்கும் (Chadwick) கோல்ட் ஹாபரும் (Goldhaber) முதன் முதலில் இந்தவகை வினையைக் கண்டுபிடித்தார்கள். *2·62 Mev* கொண்ட காமாக் கதிரை டியூட்ரானை இலக்காகக் கொண்டு தாக்கினால், இந்தவித வினை நிகழ்கிறது என்று இவர்கள் கண்டார்கள்.



$$_1H^2 + h\nu \longrightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1 + Q \qquad (8.19)$$

$_1H^2$; $_1H^1$ மற்றும் $_0n^1$ இவற்றின் நிறைகளைக் கண்டு, Q-ன் மதிப்பைக் காண முடியும். Q-ன் மதிப்பு — *2.178 Mev* ஆக இருக்கும் என எளிதில் கணக்கிடலாம். அதாவது *2·178 Mev* ஆற்றல் பெற்ற காமாக் கதிரே இந்த வினையை ஆக்க முடியும் என்பது புலனாகிறது. நியூட்ரானின் நிறையை மிகத்துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க இந்த முறைதான் மிகவும் சிறப்பாகப் பயன்படுத்தப் படுகிறது.

8.6.6 எலக்ட்ரான் தாக்குவினைகள் (Disintegration by Electrons)

எலக்ட்ரான்களை ஏவு துகள்களாகப் பயன்படுத்தி அணுவினை யாக்கம் அடைவது சுலபமன்று. ஏனெனில், அதன் நிறை மிகக் குறைவு. ஃபோட்டான்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட இலக்கு அணுவில்

அணுவினையைத் தொடங்கத் தேவையான பயன்தொடக்க ஆற்றலுக்கும் அதிகமான ஆற்றல் பெற்ற எலக்ட்ரான்களால் தான் வினை தொடங்க முடியும் என்று கணக்கிட்டுள்ளார்கள்.

காலின்ஸ் (Collins), வில்ட்மேன் (Wildman) மற்றும் காத் (Gath) என்ற அறிஞர்கள், 1·8 *Mev* ஆற்றல் கொண்ட எலக்ட்ரான்களைப் பயன்படுத்தி பெரீலிய இலக்கைத் தாக்கிச் சிதைவுறச் செய்தார்கள்.



$$_4Be^9 + e^- \longrightarrow {_3Li^8} + {_0n^1} + Q \qquad (8{\cdot}20)$$

எனினும், இந்தவகை அணுக்கரு வினையின் நிகழ்திறன் மிக மிகக் குறைவு. வினைவாய்ப்பு 10^{-7} பாண்களே ஆகும்.

8.7 α-துகள், புரோட்டான் போன்றவைகளால் செயற்கைத் தனிம மாற்றம்

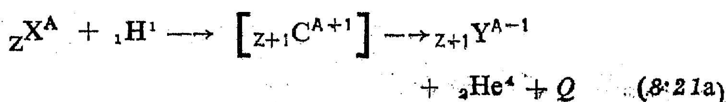
முதன்முதலில் செயற்கைத் தனிம மாற்றத்திற்கு ஏவு துகளாக α-துகள்களே பயன்படுத்தப்பட்டன. ஏனெனில், ஆற்றல் மிகுந்த α-துகள்களை, இயற்கைக் கதிரியக்கத் தனிமங்களிலிருந்து பெற முடிந்தது. எனினும், இவ்வாறு கிடைக்கும் α-துகள்களின் பெரும இயக்க ஆற்றல் 7·68 *Mev*யே ஆகும். எனவே, இந்த α-துகள்களைக் கொண்டு மிக இலேசான தனிமங்களையே சிதைவுறச் செய்ய முடிந்தது. துகள் முடுக்கும் பொறிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகு பேராற்றல் பெற்ற துகள்கள், ஒரு பாயமாகக் (flux) கிடைக்கலாயின. எனவே, புரோட்டான், டியூட்ரான், நியூட்ரான் போன்ற முடுக்கம் பெற்ற துகள்களைப் பயன்படுத்தித் தனிம மாற்றம் ஏற்படுத்துவது எளிதாயிற்று.

8.7·1 புரோட்டான்களை ஏவு துகளாகக் கொண்ட தனிம மாற்றங்கள்

முடுக்கம் பெற்ற புரோட்டான்களை ஏவு துகளாகக் கொண்டு இலக்கு அணுக்கருக்களைத் தாக்கி (p, α), (p, n), (p, d) மற்றும் (p, ν) வினைகளைத் தோற்றுவிக்க முடியும். குறிப்பிட்ட சில அணுக்கரு வினைகள் மட்டும் எடுத்துக்காட்டாக இங்குத் தரப்பட்டிருக்கின்றன.

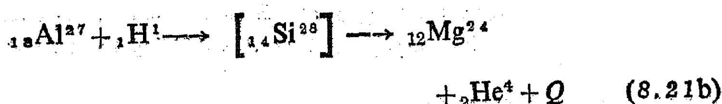
(a) (p, α)-வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு



$$_ZX^A + {_1H^1} \longrightarrow \left[{_{Z+1}C^{A+1}}\right] \longrightarrow {_{Z+1}Y^{A-1}} + {_2He^4} + Q \qquad (8{\cdot}21a)$$

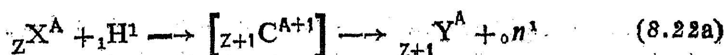
காட்டாக,



$$_{13}Al^{27} + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{14}Si^{28}] \longrightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_2He^4 + Q \qquad (8.21b)$$

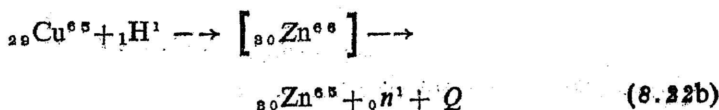
(b) (p, n) வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு,



$$_ZX^A + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{Z+1}C^{A+1}] \longrightarrow {}_{Z+1}Y^A + {}_0n^1 \qquad (8.22a)$$

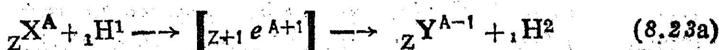
காட்டாக,



$$_{29}Cu^{65} + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{30}Zn^{66}] \longrightarrow {}_{30}Zn^{65} + {}_0n^1 + Q \qquad (8.22b)$$

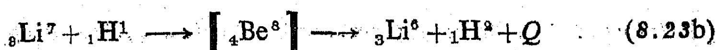
(c) (p, d) வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு



$$_ZX^A + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{Z+1}e^{A+1}] \longrightarrow {}_ZY^{A-1} + {}_1H^2 \qquad (8.23a)$$

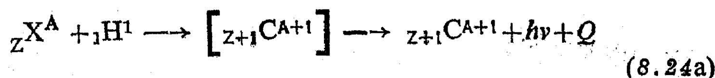
காட்டாக,



$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_4Be^8] \longrightarrow {}_3Li^6 + {}_1H^2 + Q \qquad (8.23b)$$

(d) (p, ν) வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு



$$_ZX^A + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{Z+1}C^{A+1}] \longrightarrow {}_{Z+1}C^{A+1} + h\nu + Q \qquad (8.24a)$$

காட்டாக,

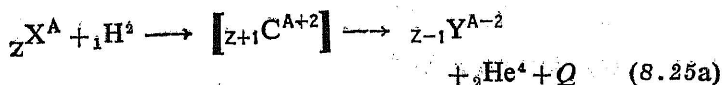


$$_{13}Al^{27} + {}_1H^1 \longrightarrow [{}_{14}Si^{28}] \longrightarrow {}_{14}Si^{28} + h\nu + Q \qquad (8.24b)$$

8.7.2 டியூட்ரானை ஏவு துகளாகக் கொண்ட வினைகள்

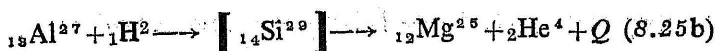
(a) (d, α) வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு



$$_{Z}X^{A} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{Z+1}C^{A+2}\right] \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A-2} + {}_{2}He^{4} + Q \quad (8.25a)$$

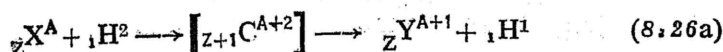
காட்டாக,



$$_{13}Al^{27} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{14}Si^{29}\right] \longrightarrow {}_{12}Mg^{25} + {}_{2}He^{4} + Q \quad (8.25b)$$

(b) (d, p) வினை

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு,



$$_{Z}X^{A} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{Z+1}C^{A+2}\right] \longrightarrow {}_{Z}Y^{A+1} + {}_{1}H^{1} \quad (8.26a)$$

காட்டாக,

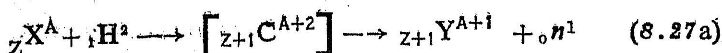


$$_{83}Bi^{209} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{84}Po^{211}\right] \longrightarrow {}_{83}\overset{*}{Bi}{}^{210} + {}_{1}H^{1} + Q \quad (8.26b)$$

(c) (d, n) வினை

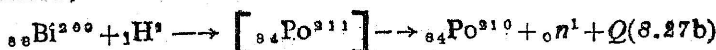
ஏவு டியூட்ரானின் ஆற்றல் ஓரளவு அதிகமாக இருந்தால் (d, p) வினைக்குப் பதிலாக (d, n) வினை நடைபெறுதலுண்டு.

வினையின் பொதுச் சமன்பாடு



$$_{Z}X^{A} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{Z+1}C^{A+2}\right] \longrightarrow {}_{Z+1}Y^{A+1} + {}_{0}n^{1} \quad (8.27a)$$

காட்டாக,



$$_{83}Bi^{209} + {}_{1}H^{2} \longrightarrow \left[{}_{84}Po^{211}\right] \longrightarrow {}_{84}Po^{210} + {}_{0}n^{1} + Q \quad (8.27b)$$

நியூட்ரான்களை ஏவு துகள்களாகப் பயன்படுத்தித் தோற்றுவிக்கப்படும் அணுக்கரு வினைகள் பலவாகும். இவை அணுக்கருவைப் பற்றிய பல அரிய தகவல்களைத் தருவதோடு, பிற அறிவியல் துறைகளின் சில அடிப்படை ஆராய்ச்சிகளுக்குத் தேவையான பயன்தரும் வினைகளைக் கொண்டதாக அமைகின்றன. எனவே, நியூட்ரானைப்பற்றியும், அதனால் தூண்டப்படும் அணுக்கரு வினைகள் பற்றியும் தனிக் கவனம் செலுத்திச் சிறப்புப் பகுதியாகப் பயிலுதல் அவசியமாகிறது.

வினு 1: N^{14} அணுக்கருவின் ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய ஒரு கிளர்ச்சி மட்டம், புவிநிலையைவிட 12.80 *Mev* ஆகும். முறையே α, $_1H^2$ ஏவு துகள்கள் எந்த இயக்க ஆற்றல் கொண்டிருந்தால் பின்வரும் ஒத்திசைவு வினைகள் நிகழும்.

(a) $B^{10}(d, n)N^{13}$

(b) $C^{12}(d, p)C^{13}$

விடை:

(a) $_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow [{}_7N^{14}] \longrightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1$

$_5B^{10}$-ன் நிறை $= 10.012939$

$_2He^4$-ன் நிறை $= 4.002604$

வினை தொடங்கும் துகள்களின் மொத்த நிறை $= 14.015543$

$_7N^{14}$-ன் நிறை $= 14.003074$

$_7N^{14}$-ன் ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய கிளர்ச்சி மட்டம், புவி மட்டத்தைவிட 12.80 *Mev* அதிகமாக இருப்பதால் $_7N^{14}$ இந்த மட்டத்தில் இருக்கும்போது, அதனின் மொத்த ஆற்றல் அதன் நிறை + 12.80 *Mev* ஆகும்.

$931.441\ Mev = 1\ a.m.v.$

$\therefore\ 12.80\ Mev = .01374\ a.m.v.$

$\therefore$ $_7N^{14}$-ன் மொத்த ஆற்றல் $= 14.003074 + .01374$
$= 14.016814\ a.m.v.$

எனவே, α-துகளுக்குத் தேவையான
இயக்க ஆற்றல் $= (14.016814 - 14.015543)\ a.m.v.$ ஆகும்.
$= 0.001271\ a.m.v.$
$= 1.19\ Mev$

(b) $_6C^{12} + {}_1H^2 \longrightarrow [{}_7N^{14}] \longrightarrow {}_6C^{13} + {}_1H^1$

$_6C^{12}$-ன் நிறை $= 12.0000\ a.m.v.$

$_1H^2$-ன் நிறை $= 2.014103\ a.m.v.$

மொத்த நிறை $= 14.014103\ a.m.v.$

$_7N^{14}$-ன் நிறை $= 14.003074\ a.m.v.$

கிளர்ச்சி மட்டத்திற்கு ஈடான நிறை $=0.01374$ *a.m.v.*

$_7N^{14}$-ன் மொத்த ஆற்றல் $=(14.003074+0.01374)$ *a.m.v.*

$=14.016814$ *a.m.v.*

எனவே, டியூட்ரானின்
இயக்க ஆற்றல் $=[14.016814-14.014103]$ *a.m.v.*

$=0.002711$ *a.m.v.*

$=2.53$ *Mev.*

எனவே, ஆற்றல் சரியீட்டுக் கொள்கைப்படி, α-துகளின் இயக்க ஆற்றல் 1.19 *Mev*-ம் டியூட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் 2.53 *Mev*-ம் இருந்தால்தான் முறையே சமன்பாடு (a), (b) என்ற வினைகளைத் தோற்றுவிக்க முடியும்.

வினு 2: $_{14}Si^{30}$ என்ற அணுக்கருவை டியூட்ரானைக் கொண்டு தாக்கினால் $_{14}Si^{31}$ என்ற சேய் அணுக்கரு புவிநிலையில் உருவாகி, ஒரு புரோட்டான் வெளிவீசப்படுகிறது. இந்த அணுக்கரு வினையின் வெளியேற்றப்படும் ஆற்றலின் மதிப்பைக் கீழ்க்காணும் குறிப்புகளிலிருந்து கண்டுபிடிக்கவும்.

(a) $_{14}Si^{31} \longrightarrow {}_{15}P^{31}+\beta^{-}+1.51\ Mev$

(b) $_{14}Si^{30}+{}_1H^2 \longrightarrow {}_{15}P^{31}+{}_0n^1+5\cdot10\ Mev$

(c) $_0n^1 \longrightarrow {}_1H^1+\beta^{-}+0.78\ Mev$

விடை :

(b)$-$ (a) $+$ (c)-ன் மதிப்பு

$_{14}Si^{30}+{}_1H^2-{}_{14}Si^{31}+{}_0n^1$

$={}_{15}P^{31}+{}_0n^1+5.10\ Mev-{}_{15}P^{31}$

$-\beta^{-}-1.51\ Mev+{}_1H^1+\beta^{-}+0.78\ Mev$

$\therefore\ {}_{14}Si^{30}+{}_1H^2-{}_{14}Si^{31}+{}_0n^1$

$={}_0n^1+{}_1H^1+4.37\ Mev$

$\therefore\ {}_{14}Si^{30}+{}_1H^2={}_{14}Si^{31}+{}_1H^1+4.37\ Mev$

எனவே, Q-ன் மதிப்பு $=3.37$ *Mev* ஆகும்.

வினுக்கள்

(1) நிறைக்கும் ஆற்றலுக்குமிடையேயுள்ள தொடர்பை விளக்குக. இது எவ்வாறு அணுக்கருவியலில் பயன்படுத் தப்படுகிறது என்பதை விவரிக்கவும்.

(2) செயற்கைத் தனிம மாற்றம் ஏற்படுத்தத் தேவையான சூழ்நிலே என்ன என்பதை விவரி.

(3) போரின் கூட்டணுக்கருக் கொள்கையை விளக்கவும்.

(4) செயற்கைத் தனிம மாற்றத்தில் சில முக்கிய வினைகளை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விவரிக்கவும்.

(5) சிறு குறிப்பெழுதுக

(a) வினை வாய்ப்பு

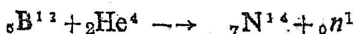
(b) $o-p$ வினைகள்

(c) ஆற்றல் சரியீடு.

(6) ${}_1H^2+{}_1H^2={}_2He^3+{}_0n^1+Q$ இதில் Q-ன் மதிப்பு 3.26 *Mev*, டியூட்ரானின் நிறை 2.0141 *a.m.v.*, ${}_2He^3$-ன் நிறை 3.0160 *a.m.v.* என்றால் நியூட்ரானின் எடையைக் காண்.

(1 *a.m.v.*=931.445 *Mev*)

(7) ${}_6C^{13}+{}_1H^2 \longrightarrow {}_6C^{14}+{}_1H^1$ என்ற அணுக்கரு வினையில், ${}_1H^2$-ன் இயக்க ஆற்றல் 2.45 *Mev* ஆக இருக்கும்போது, ஒத்திசைவு வினை நிகழ்கிறதென்றால், ஒரு α-துகளின் எந்த இயக்க ஆற்றலுக்குப் பின்வரும் ஒத்திசைவு வினை நடைபெறவியலும்?



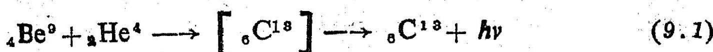
$${}_5B^{11}+{}_2He^4 \longrightarrow {}_7N^{14}+{}_0n^1$$

9. நியூட்ரான் இயற்பியல்

9.1 கண்டுபிடிப்பு

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தினுல் வீசப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள் களைக்கொண்டு இலேசான தனிமங்களைத் தாக்கி, அவற்றைச் சிதைவுறச் செய்ய இயலும் என்ற ருதர்ஃபோர்டின் அரிய கண்டு பிடிப்பு அணுக்கரு ஆராய்ச்சியில் ஒரு புதிய திருப்பத்தை ஏற்படுத்தியது.

*1930*ஆம் ஆண்டில் போத்தே (Bothe), பெக்கர் (Becker) என்ற ஜெர்மன் நாட்டைச் சேர்ந்த இரு விஞ்ஞானிகளும் ***5 Mev*** ஆற்றல் பெற்ற α-துகள்கள் பெரிலியம், போரான் போன்ற இலக்குத் தனிமங்களைத் தாக்கும்போது, மிகுந்த ஊடுருவு ஆற்றல் வாய்ந்த கதிர்வீச்சு ஒன்று வெளிப்படுவதைக் கண்டார்கள். அக் கதிர்கள் மின்னூட்டமற்றவைகளாக இருந்ததால், அவை காமாக் கதிர்களாகத்தான் இருக்கவேண்டும் என்ற இயல்பான முடிவுக்கு வந்தார்கள். எனவே, பின்வரும் அணுக்கரு வினையாகத்தான் அந்த வினையை எண்ணினர்.



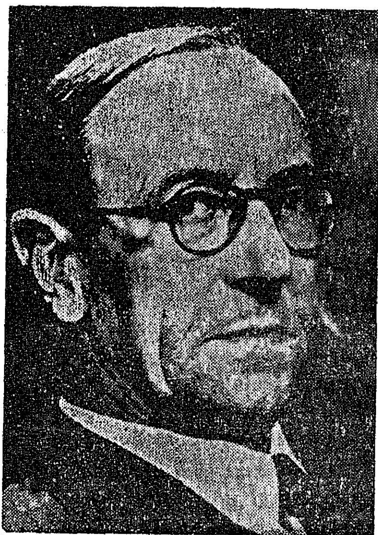
$$ {}_{4}Be^{9} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow \left[{}_{6}C^{18} \right] \longrightarrow {}_{6}C^{13} + h\nu \qquad (9.1) $$

ஆயினும், கற்பனை செய்யப்பட்ட இந்த வினை சில முரண்பாடு களைத் தன்னகத்தே கொண்டிருக்கிறது என்ற உண்மையை ஜோலியோவும் (Joliot) கியூரியும் (Curie) கண்டனர். அதாவது இந்தக் கற்பனை அணுவினையில் வெளிவீசப்படும் காமாக் கதிரின் ஆற்றல் ***7 Mev*** யாகும் என்று, காரீயத்தில் அவை உட்கவரப்படும் அளவீடுகளைக்கொண்டு கணக்கிட்டார்கள். ஆயினும், இக் கதிர்கள், பாரஃபின்(paraffin), செலஃபேன் (cellophane) போன்ற நீர்மப் பொருள்களை (hydrogenous materials) இலக்காகக் கொண்டு தாக்கும்போது, வெளியேற்றப்படும் புரோட்டான் களின் இயக்க ஆற்றலே ***5 Mev*** இருந்தது. இக் கதிர்கள்

உண்மையில் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த காமாக் கதிர்களாக இருந்தால், இந்தப் புரோட்டான்கள், காம்ப்டன் விளைவை யொத்த மீண்டெழு மோதலில் உருவாக்கப்பட்டன என்று கொள்ளத் தக்கது. எனவே, காம்ப்டன் சிதறல் சமன்பாடு (5.23)-ன்படி, $h\nu$ ஆற்றல் கொண்ட ஃபோட்டான் ஒன்று 'm' நிறையுடைய துகள் ஒன்றுக்கு அளிக்கக்கூடிய பெரும ஆற்றல்

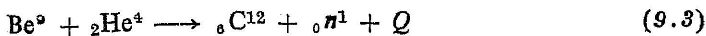
$$T_{max} = \frac{h\nu}{1 + \frac{mc^2}{2h\nu}} \text{ ஆகும்.} \qquad (9.2)$$

எனவே, சமன்பாடு (9.2)-ல் T_{max}-ன் மதிப்பு 5 Mev ஆகவும், 'm'ன் மதிப்பு, புரோட்டானின் ஓய்வு நிலைநிறை என்றும் கொண்டு $h\nu$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால், $h\nu$-ன் மதிப்பு 55 Mev என்றாகிறது. அதாவது காமாக் கதிரின் ஆற்றல் 55 Mev இருக்கவேண்டும். ஆயினும் முதலில் கூறியவாறு, காரீய உட்கவர் சோதனைகளிலிருந்து இந்தக் கற்பனை காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல் 7 Mev தான் என்று தெரியவருகிறது. மேலும், சமன்பாடு (9.1)-ல் தனிமங்களின் நிறைகளைச் சமனீடு செய்தால், ஆற்றல்-நிறை தொடர்பு கொள்கைப்படி, $h\nu$-ன் மதிப்பு 15 Mev-க்கு மேல் இருக்கமுடியாது என்றாகிறது. எனவே, இந்த காமாக் கதிர்கள் 55 Mev ஆற்றல் பெற்றவை என்ற சோதனைகளின் முடிவு, ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைகளுக்கு முரண்பட்டதாகிறது. இந்நிலையில் சாட்விக் (Chadwick) என்ற ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானி எந்த ஒரு சிக்கலையும், நுட்பமானபுதியமுறையிலும் அதே சமயத்தில் எளிய முறையிலும் தீர்வு காணும் 'காவெண்டிஷ்' ஆய்வுச் சாலையில் உருவாகும் விஞ்ஞானிகளுக்கே உரிய மரபையொட்டி (the tradition of Cavendish) ஒரு புதிய கருத்தை எடுத்துரைத்தார்.


ஜேம்ஸ் சாட்விக்

பெரீலியத்தை, ஆல்ஃபாத் துகளைக்கொண்டு தாக்கினால், வெளிவீசப்படும் கதிர்கள் காமாக் கதிர்கள் அல்ல என்றும், மின்

னூட்டம் இல்லாத, நிறை பொருந்திய ஒரு துகள் என்று கொண்டால் இந்த முரண்பாடுகள் யாவும் மறைந்துவிடுகின்றன என்றும் கண்டார். மின்னூட்டமற்ற இதுபோன்ற துகள் அணுக்கருவினுள் இருக்கக்கூடும் என்று ருதர்ஃபோர்டின் புனை கோளை கருத்தில் கொண்டு, இந்தத் துகள் உண்மையாகவே இருக்கிறதா என்ற முயற்சியில் தீவிரமாக ஈடுபட்டார் சாட்விக். அவரின் கூற்றுப்படி சமன்பாடு(9.1) பின்கண்டவாறு இருக்கவேண்டும்.



$$Be^{9} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1 + Q \qquad (9.3)$$

இதில் ${}_0n^1$ என்பது மின்னூட்டம் சுழியுடைய புரோட்டானைப் போன்ற நிறை எண் அலகு உள்ள நியூட்ரான் என்பதாகும்.

தான் கொண்ட முடிவு சரியே என்பதை நிலைநாட்டுவதற்காக அடுத்து வரும் சோதனையைச் செய்து காட்டினார். α-துகள்களைக் கொண்டு ஒரு பெரிலியத் தனிம இலக்கு நோக்கித் தாக்கினார். இலக்குத் தனிமத்திலிருந்து வெளிவீசப்படும் கதிர்வீச்சுக்குமுன் அதன் பாதையில் 2 செ.மீ. தடிமனுள்ள ஒரு காரீயத் தகட்டை வைத்தார். காரீயத் தகட்டையொட்டி ஓர் அயனிக்கலத்தைப் பொருத்தினார். முதலில் அணுக்கரு வினையினால் வெளிவீசப்படும் கதிர்களின் பாதையில் காரீயத் தகட்டை வைத்தபோதும், பிறகு காரீயத் தகட்டைப் பாதையிலிருந்து எடுத்தபோதும் அயனிக் கலத்தில் பதிவு செய்யப்படும் மின் துடிப்பு அதிகமாக மாற்றமடைவதில்லை. இது இந்தக் கதிர்களின் அதி ஊடுருவுத் திறனைக் காட்டுகிறது. எனினும், கதிர்வீச்சின் பாதையில் ஒரு மெல்லிய பாரஃபின் ஏடு வைக்கப்பட்டால் அயனிக்கலத்தில் பதிவு செய்யப்படும் மின் துடிப்புப் பெருமளவில் அதிகரிக்கிறது. இதற்குக் காரணம், பாரஃபினிலிருந்து மீண்டெழு மோதலால் உருவாக்கப்பட்ட புரோட்டான்கள் வெளியேற்றப்படுவதே ஆகும். எனவே, இவ்வாறு புரோட்டான்கள் அதி ஆற்றலுடன் வெளியேற வேண்டும் என்றால் மோதும் கதிர்கள் நிறை பொருந்திய ஒரு பருப்பொருள் துகளாக இருக்கவேண்டும் என்று தெரிகிறது.

9.2 நியூட்ரானின் நிறையைக் காணல் (Mass of Neutrons,

9.2·1 நேரடி மோதல் முறை: முழு மீட்சியுறு துகள்கள் இரண்டு நேரடி மோதலுக்குள்ளாகும்போது, தாக்குதலுக்குள்ளான துகளும் தாக்கு துகளும் ஒரே திசையில் இயங்குமானால் (direct collision) ஆற்றல் பரிமாற்றம் பெருமமாக இருக்கும் என்பது முதுபழங் கொள்கையாகும்.

'v' திசைவேகத்துடன் செல்லும் 'm' நிறையையுடைய துகள் ஒன்று ஓய்வுநிலையிலிருக்கும் 'M' நிறையுடைய துகள் ஒன்றுடன் நேரடிமோதலில் ஈடுபட்டு இவ்விரண்டு துகள்களும் மோதலுக்குப் பிறகு முறையே 'v_1', 'v_2' திசைவேகத்துடன் செல்லுமென்றல் உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி,

$$mv+0=mv_1+Mv_2 \tag{9.4}$$

$$\therefore \quad v_1=\frac{mv-Mv_2}{m} \tag{9.5}$$

ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி.

$$\tfrac{1}{2}mv^2+0=\tfrac{1}{2}mv_1{}^2+\tfrac{1}{2}mv_2{}^2 \tag{9.6}$$

v_1-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (9.5)லிருந்து பதிலிட

$$\tfrac{1}{2}mv^2=\tfrac{1}{2}m\left[\frac{mv-Mv_2}{m}\right]^2+\tfrac{1}{2}Mv_2{}^2$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2=\tfrac{1}{2}mv^2+\tfrac{1}{2}Mv_2{}^2\left[1+\frac{M}{m}\right]$$

$$-Mv_2\cdot v$$

$$\therefore \quad v_2=\frac{2m}{m+M}\cdot v \tag{9.7}$$

நியூட்ரானின் திசைவேகம் 'v' என்றல் தாக்கப்படும் புரோட்டானின் பெருமத் திசைவேகமான v_2, மற்றும் புரோட்டானின் நிறை M இவற்றைக்கொண்டு நியூட்ரானின் நிறை m-ஐச் சமன்பாடு (9.7)-ன்படி கணக்கிடலாம். ஆயினும், நியூட்ரானின் திசைவேகம் v-ஐ அறிவது கடினம். எனவே, சாட்விக், தாக்குதலுக்குள்ளாகும் இலக்காகப் புரோட்டான், நைட்ரஜன் என்ற இரு அணுக்கருக்களைக் கொண்ட பொருள்களைத் தனித்தனியாகப் பயன்படுத்தி, அவற்றின் பெருமத் திசைவேகங்கள் முறையே 'v_2' மற்றும் 'v_3' இவற்றைக் கண்டார். புரோட்டானின் நிறை M_2 சுமார் '1' a.m.v. என்றும் நைட்ரஜனின் நிறை M_3 சுமார் 14 a.m.v. என்றும் கொண்டால், சமன்பாடு (9.7)-ன்படி

$$v_2=\frac{2m}{m+1}v \tag{9.8}$$

$$v_3 = \frac{2m}{m+14} v \tag{9.9}$$

எனவே,

$$\therefore \quad \frac{m+14}{m+1} = \frac{v_2}{v_3} \tag{9.10}$$

$v_2 = 3 \cdot 3 \times 10^7$ மீட்டர் செகண்டு$^{-1}$

$v_3 = 4.7 \times 16^6$ மீட்டர் செகண்டு$^{-1}$

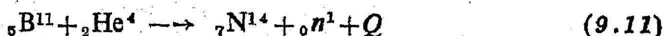
என அறியப்பட்டது.

எனவே,

$$\frac{m+14}{m+1} = \frac{3.3 \times 10^7}{4.7 \times 10^6}$$

$\therefore \quad m = 1.16$ *a.m.v.*

9.2·2 அணுக்கரு வினை ஆற்றல் சரியிடுமுறை: போரான் இலக்குத் தனிமத்தை, α-துகள்களால் தாக்கினால் நியூட்ரான் வெளிவீசப்படுகிறது.



$$_5B^{11} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_7N^{14} + {}_0n^1 + Q \tag{9.11}$$

Q-ன் மதிப்பை சாட்விக் மிகத்துல்லியமாக (+0.0002 *a.m.v.*) என்று கணக்கிட்டார்.

$_5B^{11}$-ன் நிறை = 11.0093 *a.m.v.*

$_2He^4$-ன் நிறை = 4.0026 *a.m.v.*

$_7N^{14}$-ன் நிறை = 14.00307 *a.m.v.*

ஆகவே, சமன்பாடு (9.11)-ன் படி.

11.0093 + 4.0026 = 14.00307 + 0.0002.
+ [நியூட்ரானின் நிறை]

$\therefore$ நியூட்ரானின் நிறை = 1.0086 *a.m.v.*

9.2·3 டியூட்ரான் சிதைவுறுதல் முறை: சாட்விக்கும் கோல்டு ஹாபரும் ஆற்றல் மிக்க காமாக் கதிர்களை, டியூட்ரான் அணுக்கருவை நோக்கித் தாக்கி அதைச் சிதைக்க முடியும் என்று கண்டார்கள்.



$$_1H^2 + h\nu \longrightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1 \quad (9.12)$$

இவ்வாறு டியூட்ரானைச் சிதைவுறச் செய்யத் தேவைப்படும் காமாக் கதிரின் சிறும ஆற்றல் 2.20 *Mev* இருக்க வேண்டும் என்றும் சோதனைகள் மூலம் கண்டறிந்தார்கள். எனவே, ஆற்றல்-நிறை அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி $_0n^1$-ன் நிறையைக் கணக்கிடலாம். டியூட்ரானின் நிறை = 2.0141 *a.m.v.*

காமாக் கதிரின் சிறும ஆற்றலுக் கிணையான நிறை } = 0.00208 *a.m.v.*

புரோட்டானின் நிறை = 1.0073 *a.m.v.*

எனவே, நியூட்ரானின் நிறை

$$2.0161 - 1.0073 = 1.0088 \ a.m.v. \quad (9.13)$$

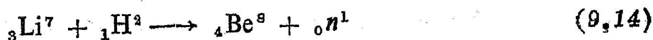
இதுவே மிகவும் துல்லியமான மதிப்பாக இன்று ஏற்றுக் கொண்ட நிறையாகும்.

9.3 நியூட்ரான் மூலங்கள் (Neutron Sources)

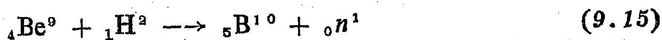
9.3·1 கதிரியக்க மூலங்கள்: ஆல்ஃபாத் துகள்களை வெளி வீசக்கூடிய இயற்கைக் கதிரியக்கத் தனிமம் ஒன்று மற்றொரு தனிமத்துடன் கலக்கப்பட்டால், ஆல்ஃபாத் துகள் இரண்டாவது தனிமத்தின் அணுக்கருக்களைத் தாக்கி நியூட்ரான்களை வெளியேற்றும். சாட்விக் முதன்முதலில் செய்த சோதனைகள் முழுவதும் இந்த வகையில் பெற்ற நியூட்ரான்களைக் கொண்டுதான் என்பது விளங்கும். ஆல்ஃபாத் துகள்களை வெளியிடக்கூடிய பொலோனியத்தையும் பெரிலியத் தனிமத்தையும் (Po+Be) கலந்து இந்தக் கலவையைத் தக்க கலம் ஒன்றில் வைத்துக் காற்றுப் புகாமல் மூடியபின் இந்தக் கலம் நியூட்ரான் மூலமாகக் கருதப்படும். இந்தக் கலவையிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்கள் சுமார் 6.7 *Mev* முதல் 10.9 *Mev* வரை ஆற்றல் பெற்றிருக்கும். ஆயினும், இம் முறையில் செறிவு குறைந்த நியூட்ரான் பாயத்தையே பெறமுடியும். மேலும், பொலோனியத்தின் அரை ஆயுட்காலம் 140 நாட்களே யாதலால், வெளிப்படும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் விரைவிலேயே குறையத் தொடங்கிவிடும்.

9.3·2 முடுக்கம் பெற்ற துகள்களால் அணுக்கரு வினையாக்கம்: வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல்களையுடைய நியூட்ரான்களைப் பெற வேண்டுமென்றால், தாக்கு துகள்களின் ஆற்றலையும் கட்டுப்படுத்த

வேண்டும். துகள் முடுக்கிகள் மூலம் முடுக்கம் பெற்ற டியூட்ரான், புரோட்டான் போன்ற துகள்களைப் பயன்படுத்தி, நியூட்ரான் பாயத்தைப் பெறமுடியும். காட்டாக,



$$ {}_3Li^7 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_4Be^8 + {}_0n^1 \quad (9.14)$$



$$ {}_4Be^9 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_5B^{10} + {}_0n^1 \quad (9.15)$$

இவ்வகையில் பெறும் நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் 15 *Mev* வரை இருக்கும்.

மேலும், ஒளிப் பயன் வினைகளின் மூலமும் (சமன்பாடு 9.12) நியூட்ரான்களைப் பெறலாம்.

மேலும், பிலிப்ஸ்-ஓபன்ஹைமர் கண்டுபிடித்த அணு வினையாக்க முறையிலும் (பகுதி 8.6·4) நியூட்ரான்களைப் பெறமுடியும். இந்த முறைப்படி டியூட்ரானிலிருந்து பிரிக்கப்பட்ட புரோட்டான்களை விலக்கி முன்னேக்கிச் செல்லும் நியூட்ரான்களை மட்டும் பெறமுடியும்.

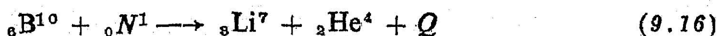
9.3·3 அணு உலை மூலங்கள்: யுரேனியம் போன்ற நிறை எண் மிக்க அணுக்கருக்கள், நியூட்ரான்களால் தாக்கப்படும் போது, அவை ஏறத்தாழ இரு கூறுகளாகப் பிரிந்து, பேராற்றலையும், ஒரு சில நியூட்ரான்களையும் வெளிப்படுத்தும். இவ்வாறு தூண்டப்பட்ட பிளவின் காரணமாகத் தோன்றும் நியூட்ரான்கள் அடுத்தடுத்த அணுக்கருக்களிலும் பிளவுகளைத் தூண்டுமாறு அணு உலை (Atomic Reactor) ஒன்றை உருவாக்கினல், இந்த உலையில் ஏற்படும் தொடர் வினை (chain reaction) அளவற்ற ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களை உற்பத்தி செய்யும். எனவே, மிகச் சிறந்த நியூட்ரான் மூலம் ஓர் அணு உலையேயாகும்.

9.4 நியூட்ரான் உணர்முறைகள் (Detection of Neutrons)

நியூட்ரான்கள் மின்னூட்டமற்ற துகள்களாதலால் அவற்றை காந்தப்புலம், மின்புலம் கொண்டு பாதை விலக்கம் செய்து ஆற்றலை அறிதல் இயலாது. மேலும் நியூட்ரான்கள், எலக்ட்ரான்களுடன் செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மை மிகக் குறைவாக இருக்கின்ற காரணத்தால், அயனியாக்கம் நிகழ்வதில்லை. எனவே, ஆற்றல் வரைவி, கைகர் எண்ணி, முகிற்கலம் போன்றவற்றைப் பயன்படுத்தி நேரடியாக நியூட்ரானைக் கண்டுணர முடியாது. நியூட்ரான்களை, அவை விளைவிக்கும் துணை விளைவுகளைக்கொண்டே கண்டுணர முடியும். இவ்வகைத் துணை விளைவு முறைகள் பல

இருந்தபோதிலும் குறிப்பிடத்தக்க வகையில் இரண்டு முறைகள் தாம் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. (1) நியூட்ரான்கள் உட்கவரப்பட்டு விரைந்து செல்லும் மின்னூட்டத் துகள் ஒன்று வெளிப்படும் பதிலிடு அணுவினை யொன்றைத் தோற்றுவித்து, அந்த மின்னூட்டத் துகளின் ஆற்றலை அறிதல். (2) ஆற்றல் மிக்க நியூட்ரான்கள் தம் நிறையை யொத்த புரோட்டான்கள் மிகுந்த இலேசான நீர்மப் பொருள்களின்மீது மோதி, புரோட்டான்களை வெளிப்படுத்தும். இந்தப் புரோட்டான்கள் செல்லும் வழிகளில் எல்லாம் அயனிகளைத் தோற்றுவித்து, அவற்றின் பாதையை அறிந்துகொள்ளச் செய்யும். இவ்விரு முறைகளில் குறைந்த இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களை (மந்த நியூட்ரான்கள் என்று இவை பெயர் பெறும்) உணர முதல் முறையும், அதிக இயக்க ஆற்றல் பெற்ற அதிவேக நியூட்ரான்களை உணர இரண்டாவது முறையும் சாலச் சிறந்தவையாகும்.

9.4·1 மந்த நியூட்ரான்களைக் கண்டுணர்தல் (Detection of Slow Neutrons) (BF_3 உணர்கருவி) : வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு கலத்தினுள் தேவைக்கேற்ப போரான் டிரை ஃபுளோரைடு (BF_3) என்ற வாயு நிரப்பப்படுகிறது. மிகுந்த பயனைப் பெறவேண்டி போரானின் B^{10} என்ற ஐசோடோப்பைப் பயன்படுத்துவதும் உண்டு. இந்தக் கலத்தினுள் புகும் நியூட்ரான்கள் B^{10}-ன் கருவைத் தாக்கி α-துகள்களை வெளிப்படுத்துகின்றன.



$$_5B^{10} + {}_0N^1 \longrightarrow {}_3Li^7 + {}_2He^4 + Q \qquad (9.16)$$

$$Q = 2.5\ Mev$$

எனவே, α-துகள்கள், தாம் பெற்ற இயக்க ஆற்றலால், அயனியாக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த அயனிகளின் பாதையை உணருவது எளிது. இத்தகைய உணர்கருவிகள் சுமார் 1 *Kev* வரை ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களை மட்டுமே கண்டுணர முடியும். அதற்கு மேற்பட்ட ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்கள் போரானால் உட்கவரப்படாமல், அதனை ஊடுருவிச் செல்லுமாதலால், கருவின் இயக்க திறம் (efficiency) குறைகிறது.

9.4·2 விரைவு நியூட்ரான்களைக் கண்டுணர்தல் (Detection of Fast Neutrons) : நீர்மப் பொருள்களில் தாக்கும் நியூட்ரான்கள், சிதறலுறுவதற்கான வாய்ப்பு மிக அதிகம். எனவே, ஆர்கான் போன்ற வாயுக்கள் அடங்கிய ஒரு கலத்தினுள் ஒரு பக்கத்தில், மெல்லிய பாலிதிலின் (Polythelene) தாள்களோ, அல்லது பாரஃபின் ஏட்டோ பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. நியூட்ரான் சிதற

லுக்குத் தேவையான புரோட்டான்களை இவை அளிக்கின்றன. வாயுக் கலவையின் அழுத்தத்தை, வளி அழுத்தத்தைவிட ஐந்து அல்லது ஆறு மடங்காக உயர்த்திவைத்தல் நலம். நியூட்ரான்களால் தாக்கப்பட்ட புரோட்டான்கள் கட்டற்று வெளியேறுகின்றன. அவை செல்லும் பாதையில் அயனியாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அயனியேற்பு மின்வாய்களைக் கொண்ட ஓர் அயனிக்கலமாக இந்த உணர்கருவி இப்பொழுது செயல்படுகிறது.

அண்மையில் திரவ மினுமினுக்கிகள் (liquid scintillators) கொண்ட மினுமினுப்பு உணர்கருவிகள், அதி ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களை உணரப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

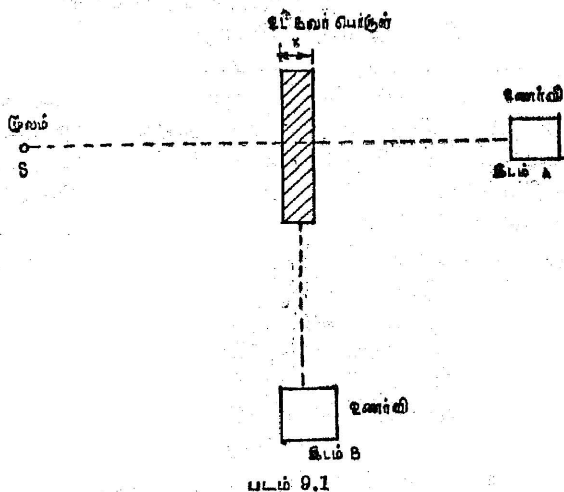
9.5 நியூட்ரான் தாக்கு வினைவாய்ப்புகள் (Nuclear Cross Sections for Neutron Reactions)

ஓர் அணுக்கருவுடன் ஒரு நியூட்ரான் செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மையை, நிகழ்திறத்தைப் பொதுவாக அணுக்கரு வாய்ப்புகளாகக் குறிப்பிடுதல் முறை. வாய்ப்புகளின் வரையளவுகளைப் பற்றி முன்பே படித்தோம். பெரும்பாலும் அளவிடப்படுவது முழு வாய்ப்பேயாகும். நியூட்ரான் ஒன்று, அணு ஒன்றுடன் மோதுவதால் விளையும் எல்லா நிகழ்ச்சிகளையும் முழுவாய்ப்பு (total cross section) குறிப்பிடுவதாகக் கொள்ளலாம். முழுவாய்ப்பு என்பது பல பகுதி வாய்ப்புகளைத் தன்னகத்தே கொண்டது. காட்டாக, (n, n) அணுக்கரு வினையின்போது நியூட்ரான் ஒன்று வெளிவருவதாகக் கொள்வோம். இது ஒரு சிதறல் வாய்ப்பைக் குறிக்கும் (σ_s). வெளித்தோன்றும் நியூட்ரான், உட்கவரப்பட்ட நியூட்ரானின் ஆற்றலையே பெற்றிருக்குமானால், இச்சிதறல் மீட்சிச் சிதறல் என்கிறோம். அல்லது வெளிவரும் நியூட்ரானின் ஆற்றல் மாறுபடுமாயின் இச் சிதறல் மீட்சியிலாச் சிதறல் என்கிறோம். எனவே, சிதறல் வாய்ப்பு (σ_s) இப்போது மீட்சிச் சிதறல் வாய்ப்பு (σ_e) என்றும் மீட்சியிலாச் சிதறல் வாய்ப்பு (σ_i) என்றும் இரு பகுதிகளாகப் பிரிகிறது. ஒரு நியூட்ரான் சிதறல் அடையாமல் உட்கவரப்படலாம். இதை உட்கவர் வாய்ப்பு (σ_a) எனலாம். உட்கவர் வாய்ப்பு, சிதறல் வாய்ப்பு போன்ற மோதலினால் விளையும் தனித்தனி நிகழ்ச்சிகளுக்கான வாய்ப்புகளின் கூட்டுத்தொகை மோதலுக்கான முழுவாய்ப்பு என அழைக்கப்பெறுகிறது. மேலும், உட்கவர் வாய்ப்பு, வினைவாய்ப்புகள் பலவாகப் பகுதிப்படுத்தப்படுவதும் உண்டு. காட்டாக, உட்கவரப்பட்ட நியூட்ரான்கள், எந்தவித வினையைத் தோற்றுவிக்கின்றனவோ, அவற்றைக் கொண்டு (n, α); (n, ν) (n, n) போன்ற வினைகளுக்கான வாய்ப்பு

களைக் குறிப்பிடுதல் முறை. நியூட்ரான்களை உட்கவர்ந்த அணு தோரியம், யுரேனியம், புளூட்டோனியம் போன்ற அதிக நிறையை யுடைய தனிம அணுக்களாக இருந்தால் பிளவை வாய்ப்பு (fission cross section) ஒன்றையும் பெற்றிருக்கும்.

9.6 நியூட்ரான் உட்கவர் வாய்ப்பு அறியும் முறை (Neutron Absorption Cross Section)

நியூட்ரானால் தூண்டப்படும் அணுக்கரு வினைகளைப்பற்றி ஆராய நியூட்ரான்கள் எந்த அளவுக்குக் குறிப்பிட்ட பருப்பொரு ளால் உட்கவரப்படுகின்றன என்பதை அறிவது அவசியமாகிறது. அவ்வாறு அறியப் பின்கண்ட முறை எளியது. நியூட்ரான் மூலம் ஒன்றுக்கு நேர் எதிரில் குறிப்பிட்ட தொலைவில் (இடம் A) ஒரு நியூட்ரான் உணர்கருவியைப் பொருத்தி ஒரு நொடிக்குப் பதிவு செய்யப்படுகின்ற நியூட்ரானின் செறிவைக் (I_0) காண்போம். பிறகு, நியூட்ரான் மூலத்திற்கும், உணர்கருவிக்குமிடையே குறிப்



படம் 9.1

நியூட்ரான் உட்கவர் வாய்ப்புக் காணல்

பிட்ட தடிமன் (x) உள்ள உட்கவர் பருப்பொருள் ஒன்றை வைப்போம். இப்பொழுது, பருப்பொருள் தன்மீது தாக்கும் நியூட்ரான்களை ஓரளவு உட்கவர்கிறது; மிகுதி சிதறடிக்கப்படு கிறது. இப்பொழுது உணர்கருவியில் பதிவு செய்யப்படும் நியூட்ரான்களின் செறிவு I என்றால்,

$$I = I_0 \, e^{-Nx\sigma} \tag{9.17}$$

N — உட்கவர் பருப்பொருளின் அணுக்கருக்கள், ஒரு கன செ.மீ.-ல் உள்ள எண்ணிக்கை.

σ — சிதறல் மற்றும் உட்கவர் இவற்றிற்கான மொத்த வாய்ப்பு.

சமன்பாடு (9.17)-ன்படி

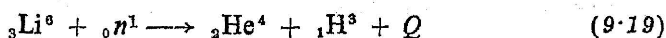
$$\sigma = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{Nx} \qquad (9.18)$$

எனவே σ-ஐக் காணல் எளிது.

பிறகு உணர்கருவியை, நியூட்ரான் செல்திசைக்கு 90° கோணத்தில் உட்கவர் பருப்பொருளுக்கு முன் வைத்தால் (இடம் B) உணர்கருவி இப்பொழுது, 90° சிதறடிக்கப்பட்ட நியூட்ரான்களை மட்டுமே பதிவுசெய்ய முடியும். இவ்வாறு எல்லாத் திண்மக் கோணங்களிலும் சிதறடிக்கப்பட்ட நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கொண்டு, சிதறல் வாய்ப்பைக் (σ_s) காண முடியும். எனவே, மொத்த வாய்ப்பிலிருந்து சிதறல் வாய்ப்பைக் கழிக்க ($\sigma - \sigma_s$), கிடைப்பது உட்கவர் வாய்ப்பாகும். ஆகவே, எந்த ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரானுடைய உட்கவர் வாய்ப்பையும் சோதனைகளின் வழியாக அறிதல் எளிது.

9.7 நியூட்ரானால் தூண்டப்பட்ட அணு வினைகள் (Neutron Induced Reactions)

(a) (n, α) வினை :



$${}_3Li^6 + {}_0n^1 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_1H^3 + Q \qquad (9{\cdot}19)$$



$${}_5B^{10} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_3Li^7 + {}_2He^4 + Q \qquad (9{\cdot}20)$$

நிறைமிகுந்த இலக்கு அணுக்கருக்களின் (n, α) வினைகளைத் தோற்றுவிக்க, ஆற்றல் மிகு நியூட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன. ஏனெனில், α-துகள்கள், மின்னழுத்த அரணை ஊடுருவிச் செல்ல ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. காட்டாக,



$${}_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{11}\overset{*}{Na}{}^{24} + {}_2He^4 + Q \qquad (9{\cdot}21)$$

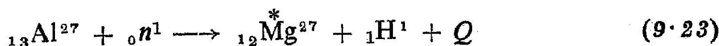


$${}_{11}\overset{*}{Na}{}^{24} \longrightarrow {}_{12}Mg^{24} + e^- \qquad (9{\cdot}22)$$

[T = 14.8 மணிகள்]

(n, α) வினையில் தோற்றுவிக்கப்பட்ட சேய் அணுக்கருவான $_{11}\overset{*}{Na}{}^{24}$, செயற்கையாகத் தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கத்தைக் கொண்டதாகவும், 14.8 மணிகள் அரை வாழ்வுக் காலத்தைக் கொண்டு, எலக்ட்ரானை வீசுவதாகவும் இருக்கிறது.

(b) (n, p) வினை



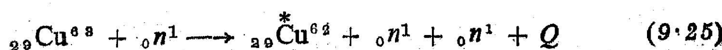
$$_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{12}\overset{*}{Mg}{}^{27} + {}_1H^1 + Q \quad (9\cdot23)$$



$$_{12}\overset{*}{Mg}{}^{27} \longrightarrow {}_{13}Al^{27} + e^- \quad (9\cdot24)$$

[T = 10.2 விநாடிகள்]

(c) $(n, 2n)$ வினை



$$_{29}Cu^{63} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{29}\overset{*}{Cu}{}^{62} + {}_0n^1 + {}_0n^1 + Q \quad (9\cdot25)$$

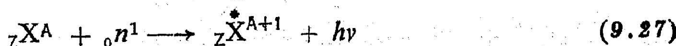


$$_{29}\overset{*}{Cu}{}^{62} \longrightarrow {}_{28}\overset{*}{Ni}{}^{62} + e^+ \quad (9\cdot26)$$

[T = 1.5 விநாடிகள்]

(d) $(n, h\nu)$ வினைகள்

இத்தாலி நாட்டறிஞர் ஃபெர்மியும் அவரின் சக விஞ்ஞானி களும் இந்த வகை வினைகளை முதன் முதலில் கண்டார்கள். அவர்கள் ஒரு ரேடியம்-பெரீலியக் கலவையை, நியூட்ரான் மூல மாகக்கொண்டு, இலக்குகளைத் தாக்கினார்கள். அப்பொழுது, நியூட்ரான்களை இலக்கு அணுக்கருக்கள் தன்வசப்படுத்திக் கொண்டு (capture) விடுவதையும், ஃபோட்டான்கள் மட்டும் வெளிவீசப்படுவதையும் கண்டார்கள். இதுபோன்ற வினைகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.



$$_ZX^A + {}_0n^1 \longrightarrow {}_Z\overset{*}{X}{}^{A+1} + h\nu \quad (9.27)$$

மேலும், சேய் அணுக்கரு $_ZX^{A+1}$ பெரும்பாலும் செயற்கைக் கதி ரியக்கத்தைக் கொண்டதாக இருக்கிறது என்றும் எடுத்துரைத் தார்கள்.

9.8 ஃபெர்மி விளைவு (Fermi Effect)

நியூட்ரானால் தூண்டப்படும் வினைகள், நியூட்ரானின் இயக்க ஆற்றலைப் பொறுத்துப் பெரிதும் மாறுபடுகிறது. நியூட்ரான் களைச் சுற்றி பாரஃபின், தண்ணீர் போன்ற நீர்மப் பொருள்களைத் தணிப்பான்களாகப் பயன்படுத்தினால், நியூட்ரான்களின் இயக்க

ஆற்றலைப் பெரிதும் குறைக்க முடியும். அவ்வாறு இயக்க ஆற்றல் குறைந்த நியூட்ரான்கள் இயக்க ஆற்றல் அதிகம் பெற்ற நியூட்ரான்களைவிட, அதி தீவிரமாக அணு வினைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன என்று ஃபெர்மியும் அவரின் சக விஞ்ஞானிகளும் கண்டறிந்தனர். இதை ஃபெர்மி விளைவு என்று கூறுவார்கள். எனவே, குறைந்த இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்கள் பருப்பொருளினுள் உட்கவரப்படும் வாய்ப்பு மிக அதிகம் என்றும், எனவே, வெவ்வேறு அணுக்கரு வினைகள் தோன்றுவதன் வாய்ப்பும் அதிகமாகிறது என்றும் தெரிகிறது.

9.9 நியூட்ரான் வகைகள் (Classification of Neutrons)

நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலுக்கேற்ப மற்றத் துகள்களோடும் பருப்பொருளோடும் அவை செயலெதிர்ச் செயல்படுவது மாறுபடுகின்றன. எனவே, அவற்றின் செயல்படு செயலையொட்டியும், இயக்க ஆற்றலை மனத்திற்கொண்டும், நியூட்ரான்களைப் பல வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். பொதுவாக, 0 முதல் 100 *ev* வரை ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்கள், மந்த நியூட்ரான்கள் (slow neutrons) என்றும், 100 *ev* முதல் 100 *Mev* வரை ஆற்றல் கொண்டவற்றை வேக நியூட்ரான்கள் (fast neutrons) என்றும் அழைப்பது வழக்கம். வேக நியூட்ரான்கள், உயர் ஆற்றல், உயர் மிகை ஆற்றல், உறுமிகை ஆற்றல் நியூட்ரான்கள் என்று வகைப்படுத்தப்படுவதும் உண்டு. இதுபோலவே மந்த நியூட்ரான்களையும் வகைப்படுத்தலாம். 0.002 *ev*-க்கும் குறைவான இயக்க ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்கள் குளிர் நியூட்ரான்கள் எனப்படுகின்றன. நம் சுற்றுப்புற வெப்பநிலையில் சுமார் 303°K மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் ஏறத்தாழ 0.038 *ev* ஆகும். இந்த ஆற்றலைவிட மிகக்குறைவான இயக்க ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்களைக் குளிர் நியூட்ரான்கள் என்று குறிப்பிடுவது இக் காரணம்பற்றியேயாகும்.

நியூட்ரான்கள் ஓர் ஊடகத்தின் வழியே செல்லும்போது, ஊடகத்தின் அணுக்களின் சராசரி வெப்பவியல் ஆற்றலுக்குச் சமமாக நியூட்ரான்களின் வேகம் குறைக்கப்படுமாயின் அந்த நியூட்ரான்கள் வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள் எனப்படும். முன்பு கூறியதுபோல, இந்த ஆற்றல் சுமார் 0.025 *ev* இருக்கும் என்பதை நாம் அடுத்த பகுதியில் காணலாம்.

9.10 வெப்பவியல் நியூட்ரான்களின் ஆற்றல்மாலை (Energy Distribution of Thermal Neutrons)

நியூட்ரான் வகைகளிலேயே மிகவும் முக்கியமாகக் கருதப்படுவது வெப்பவியல் ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான் வகையே

யாகும். ஏனெனில், இவற்றினுல் தூண்டப்படும் அணுக்கரு வினைகளே, அணுக்கருவியலில் புதிய, புரட்சிகரமான கருத்து களையும் விளைவுகளையும் ஏற்படுத்தக் காரணமாயிற்று.

தணிப்பான்களால் வேகம் குறைக்கப்பட்ட நியூட்ரான்கள் சூழ்நிலை வெப்பநிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகளைப்போலவே திசை வேகங்களைக் கொண்ட ஒரு தொடர்மாலையாக மாக்ஸ்வெல்லின் திசைவேகப் பங்கீட்டு விதியை (Maxwell's Distribution of Velocities) யொட்டி திசைவேகங்கள் கொண்டனவாய் அமை கின்றன. அதாவது T மெய் வெப்பநிலையில், ஓரலகு பருமனில் உள்ள மொத்த நியூட்ரான்கள் 'n' எனில், அவற்றுள், v-க்கும் $(v+dv)$-க்குமிடைப்பட்ட திசைவேகங்களைக் கொண்டிருக்கக்கூடிய நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, dn_v,

$$dn_v = 4\pi . n \left(\frac{m}{2\pi\, k\, T}\right)^{\frac{3}{2}} . v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k\,T}} . dv$$

$$= cv^2 e^{-\alpha^2 v^2} \qquad (9.28)$$

இதில், $m \longrightarrow$ நியூட்ரானின் நிறை

$k \longrightarrow$ போல்ட்ஸ்மேன் மாறிலி

$c \longrightarrow 4\pi\, n . \left(\frac{m}{2\pi\, kT}\right)^{\frac{3}{2}}$

$\alpha \longrightarrow \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{1}{2}}$

எனவே, சமன்பாடு (9.28)-ன்படி நியூட்ரானின் திசைவேகம் v, சுழியாகவோ அல்லது ∞ (எண்ணிலி) ஆகவோ இருந்தால்,

$dn_v = 0$ ஆகும்.

எனினும், இடைப்பட்ட திசைவேகம் ஒன்றில் பெருமளவு நியூட் ரான்கள் இருக்கக்கூடும். அத் திசைவேகம் மீநிகழ்வுத் திசைவேகம் v_0 (most probable velocity) என அழைக்கப்பெறும். சமன்பாடு (9.28)-ஐப் பகுதி கண்டு அதன் மதிப்பைச் சுழிக்குச் சமப் படுத்துவதன்மூலம் v_0-ன் மதிப்பைப் பெறலாம்.

$$dn_v = c.v^2 e^{-\alpha^2 . v^2}$$

$$\therefore \quad \frac{dn_v}{dv} = c\left[2ve^{-\alpha^2 v^2} - 2v^3 \alpha^2 e^{-\alpha^2 v^2}\right] \tag{9.29}$$

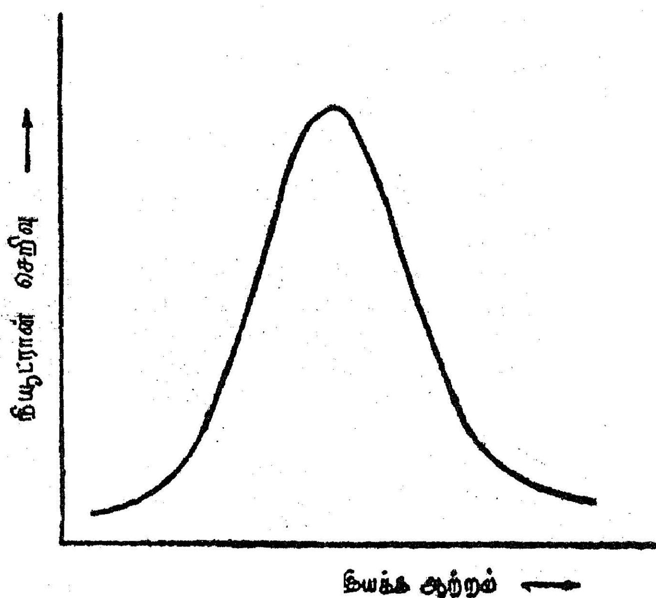
$\therefore \quad v = v_0$ என்றால்

$$\frac{dn_v}{dv} = 0$$

$$\therefore \quad 2v_0 e^{-\alpha^2 v^2} - 2v_0^3 \alpha^2 e^{-\alpha^2 v_0^2} = 0$$

$$\therefore \quad v_0 = \frac{1}{\alpha} = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{9.30}$$

$$\therefore \quad E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 \tag{9.31}$$



படம் 9.2

வெப்பவியல் நியூட்ரான்களின் ஆற்றல் பங்கீடு

சமன்பாடு (9.30)-ன்படி

$$E_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{2kT}{m}$$

$$E_0 = kT$$

$$= 0.0252\ ev \qquad (9.32)$$

பல்வேறு நியூட்ரான் மூலங்களிலிருந்து கிடைக்கப்பெற்ற நியூட்ரான்களையும், வெப்பவியல் நியூட்ரான்களாக மாற்ற முடியும். ஆயினும், அவற்றின் இயக்க ஆற்றல், குறிப்பிட்ட ஒரு வெப்பநிலையில் ஒரு தொடர்மாலையாக அமைவதால், தேவைப் பட்ட குறிப்பிட்ட திசைவேகம் கொண்ட நியூட்ரான்களைத் தெரிந்தெடுப்பது மிகவும் கடினமாகிறது.

9.11 நியூட்ரான் திசைவேகத் தெரிவிகள் (Velocity Selectors)

தேவைப்பட்ட திசைவேகம் கொண்ட நியூட்ரான்களைத் தேர்ந்தெடுக்கக் குறிப்பாக மூன்றுவிதத் தெரிவிகள் பயன்படு கின்றன. அவையாவன,

(a) செல்நேரமுறைத் தெரிவிகள் (Time of Flight Velocity Selectors).

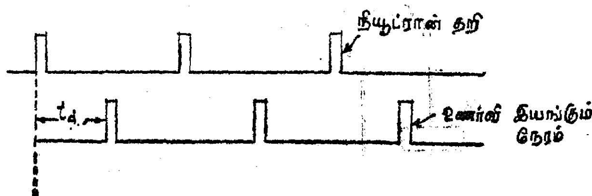
(b) இயந்திரத் தெரிவிகள் (Mechanical Selectors).

(c) படிக ஆற்றல்மாலை வரைவி (The Crystal Spectrometers).

9.11·1 செல்நேரமுறைத் தெரிவிகள்: பெர்க்லி பல்கலைக் கழகத்தைச் சார்ந்த பேராசிரியர் ஆல்வாரிஸ் என்பவரின் கண்டு பிடிப்பு இது. நியூட்ரான் மூலத்திலிருந்து (அணுஉலை) வெளி வீசப்படும் நியூட்ரான்கள், ஒரு குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளி களில் விட்டுவிட்டு, ஒரு தறிபோன்று கற்றையாக (bursts of beams in regular intervals) வருமாறு ஓர் அமைப்பை (Bunchers) இது கொண்டிருக்கிறது. இந்தக் கற்றைகள் வெளிவீசப்படும் நேரம் 10^{-6} செகண்டுகள்தாம். ஆனால், அடுத்தடுத்து வரும் இரு கொத்துகளின் இடைநேரம் மிக அதிகமாக இருக்குமாறு அமைக் கப்பட்டிருக்கிறது.

நியூட்ரான் கற்றைகளை உணரும் உணர்கருவியும், குறிப்பிட்ட நேரங்களில் மட்டுமே செயல்படுமாறும், இடைப்பட்ட நேரங் களில் செயலற்றதாகவும் இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு உணர்கருவி செயல்படும் இடையிடை நிகழ்வும்

(periodicity), நியூட்ரான்கள் வெளிவீசப்படும் இடையிடை நிகழ்வும், ஒரு குறிப்பிட்ட இடைநேரத்தைக் கொண்டதாகப் பண்பேற்றப்படுகிறது. படம் 9.3 இதை விளக்குகிறது.



படம் 9·3

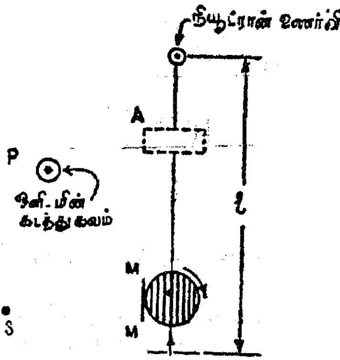
நியூட்ரான் திசைவேகம் காணல்: செல்நேரமுறைத் தெரிவி செயல்படும் விதம்

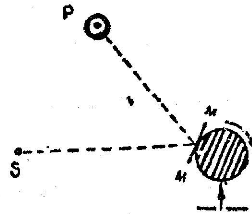
நியூட்ரான் கற்றை வெளிப்படுத்தப்பட்ட 't_d' செகண்டுகளுக்குப் பிறகு உணர்கருவி செயல்படும் தன்மையை அடைகிறது. எனவே, நியூட்ரான் மூலத்திலிருந்து உணர்கருவி, l செ.மீ. தொலைவில் இருந்தால் இந்த l செ.மீ. தொலைவை 't_d' செகண்டுகளில் கடந்து உணர்கருவி செயல்படும் சரியான நேரத்தில் உணர்கருவியை வந்தடையும் நியூட்ரான்களே, கருவியில் பதிவடையும். எனவே, அந்த நியூட்ரான்களின் திசைவேகம் l/t_d இருக்கவேண்டும் என்பது தெளிவு. மற்றத் திசைவேகம் கொண்ட நியூட்ரான்கள், உணர்கருவி செயல்படாத நேரங்களில் வந்தடைந்து பதிவாகாமல் போகின்றன.

இப்பொழுது, உணர்கருவிக்கும் நியூட்ரான் மூலத்திற்குமிடையே, நியூட்ரானை உட்கவரும் பருப்பொருள்களை வைத்துப் பகுதி 9.6-ல் குறிப்பிட்டதுபோல இந்த (l/t_d) திசைவேகமுடைய நியூட்ரானின் உட்கவர் வாய்ப்பைக் கணக்கிடலாம். இந்த முறையில் l அல்லது, 't_d'-ஐ மாற்றியமைத்து வெவ்வேறு திசைவேகமுடைய நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்பை அறிதல் இயலும். 0.01 *ev* முதல் 1000 *ev* வரை இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்பு அறிய இந்த முறை பெரிதும் பயன்படுகிறது.

9.11·2 இயந்திரத் தெரிவிகள்: காட்மியத் தனிமம் 0.3 *ev*-க்கும் குறைவாக இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்கள் யாவற்றையும் உட்கவரும் தன்மை பெற்றது. அதே சமயத்தில் அலுமினியம் போன்ற தனிமங்கள் இந்த வகை நியூட்ரான்களை உட்கவருவதில்லை. எனவே, அடுத்தடுத்த அடுக்குகளை முறையே காட்மியம், அலுமினியத் தனிம ஏடுகளைக் கொண்டதான ஓர் உருளையை (படம் 9.4) ஒரு நியூட்ரான் மூலத்திற்குமுன் வைத்து

அது இந்தத் தனிம ஏடுகளுக்கு இணையான அச்சில் சுழலக்கூடிய தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.





படம் 9.4a
நியூட்ரான் திசைவேகம் காணல்.

படம் 9.4b
இயந்திரத் தெரிவி செயல்படும் விதம்.

எனவே, உருளை சுழலும்போது, தனிம ஏடுகள், நியூட்ரான்கள் மூலத்திலிருந்து செல்லும் திசைக்கு இணையாக இருக்கும் போதுமட்டும் படம் 9.4a-ல் குறிப்பிட்டபடி உருளையைத் தாண்டி, உணர்கருவியை அடையமுடியும். உருளை மேலும் சுழன்று படம் (9.4b)-ல் கண்டபடி, நியூட்ரான் செல்திசையில் ஏடுகள் இல்லாமலிருந்தால், நியூட்ரான்கள் முழுவதும் காட்மியத் தனிமத்தால் உட்கவரப்பட்டுவிடும். ஆயினும், உணர்கருவி எல்லா நேரங்களிலும் செயல்படும் நிலையிலிருக்காது. நியூட்ரான் உருளையை விட்டுக் கிளம்பிய சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகு உணர்கருவி செயலூக்கம் அடைகிறது. உருளையின் பக்கவாட்டில் வைக்கப்பட்டுள்ள M என்ற ஆடியில் படும் ஒளி, எதிரொளிக்கப் பட்டு, ஒரு 'கடத்தி ஒளிமின்கலத்தை'ச் (photo conductive cell) செயல்படுத்துவதன் மூலமாகக் கிடைக்கும் மின்னோட்டத்தால், உணர்கருவியைச் செயலூக்கமடையச் செய்கிறது (படம் 9.4b). எனவே, 'கடத்தி ஒளிமின்கலம்' அமையுமிடத்தையும், உருளையின் சுழல் வேகத்தையும் மாற்றியமைப்பதால் வெவ்வேறு திசைவேகம் கொண்ட நியூட்ரான்கள், உணர்கருவியை அது செயலூக்கமடைந்த நேரத்தில் வந்தடையச் செய்ய முடியும். நியூட்ரான் மூலத்திலிருந்து உணர்கருவியின் தொலைவு l செ. மீட்டராகவும், உருளை நியூட்ரான்களைத் தன் வழியே அனுப்பும் கணத்திலிருந்து, உணர்கருவியைச் செயலூக்கமடையச் செய்யும் கணம் வரை இடைப்பட்ட நேரம் 't' செகண்டு என்றால், (l/t)

திசைவேகம் கொண்ட நியூட்ரான்கள்மட்டுமே உணர்கருவியில் பதிவாக முடியும். இப்பொழுது உணர்கருவிக்கும், உருளைக்கு மிடையே, நியூட்ரான் பாதையில் உட்கவர் பருப்பொருள் ஒன்றை வைத்து, குறிப்பிட்ட திசைவேகத்தில் செல்லும் நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்புகளைக் கணக்கிட இயலும்.

9.11·3 ஆற்றல் தெரிவிகள் : அலைவிசையியல் கொள்கைப் படி, இயங்கும் எத் துகளும் ஓர் அலைநீளத்தைப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும். இதன்படி mv உந்தத்துடன் இயங்கும் துகள் ஒன்றின் அலைநீளம்

$$\lambda = \frac{h}{mv} \text{ ஆகும்.}$$

h என்பது பிளாங்க் மாறிலி,

$E = \frac{1}{2} mv^2$ ஆதலால்,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \tag{9.33}$$

எனவே, வெவ்வேறு இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்கள், வெவ்வேறு அலைநீளத்தைக் கொண்டதாயிருக்கின்றன. வெவ் வேறு இயக்க ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களின் அலைநீளங்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

ஆற்றல் (*Mev*) →	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
λ (Å) →	9.2	2.9	0.92	0.29	0.09

எனவே, வெப்பவியல் நியூட்ரான்களின் அலைநீளம், ஏறத் தாழ, ஒரு படிக அணிக்கோவையின் தளங்களிடையேயுள்ள தொலைவை ஒத்திருக்கிறது. எனவே, நியூட்ரான்களின் விளிம்பு விளைவைப் படிகங்களைக் கொண்டும் ஏற்படுத்த இயலும். படிக தளத்தின் அடுத்தடுத்துள்ள இரு அடுக்குகளில் எதிரொளிக்கப் படும் நியூட்ரான் கதிர்கள் ஒன்றை ஒன்று வலுவூட்டிக் கொள் வதற்கான பிராக் விதி,

$$2d \sin \theta = n\lambda \text{ ஆகும்.} \tag{9.34}$$

d ⟶ குறிப்பிட்ட தளத்தில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு அடுக்கு களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு.

λ ⟶ நியூட்ரானின் அலைநீளம் $\left(\frac{h}{mv}\right)$

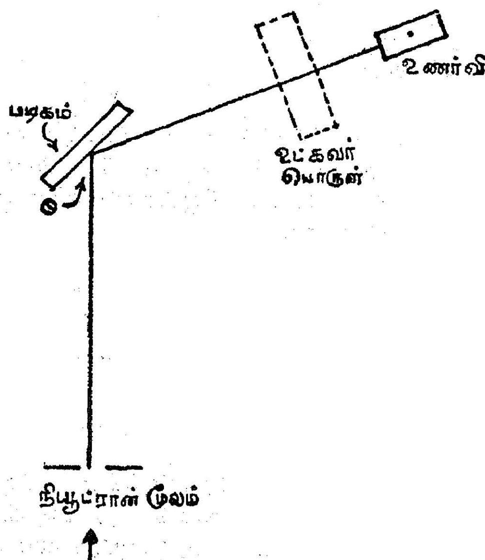
θ ⟶ தளத்திற்கும் நியூட்ரான் கதிர் படும் திசைக்கும் இடையேயுள்ள சாய்கோணம்.

n ⟶ n என்பது, 1, 2, 3.........போன்ற முழு எண்

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{2d} = \frac{n \cdot h}{2d \cdot mv}$$

$$\therefore \quad v = \frac{nh}{2dm \cdot \sin\theta} \tag{9·35}$$

எனவே, சமன்பாடு (9·35)-ன்படி, வெவ்வேறு திசைவேகங் களுள்ள நியூட்ரான்கள், வெவ்வேறு சாய்கோணங்களின் பெரும



படம் 9.5

நியூட்ரான் திசைவேகம் காணல்; படிக திசைவேகத் தெரிவி செயல்படும் விதம்

எதிரொளிப்பை ஏற்படுத்துகின்றன. படிக நியூட்ரான் ஆற்றல் தெரிவி இந்த அடிப்படைக் கொள்கையைக் கொண்டுதான் அமைக்கப்படுகின்றது.

மந்த நியூட்ரான்கள், அதன் மூலத்திலிருந்து நேரடியாக ஒரு குறிப்பிட்ட படிகத்தின்மீது தாக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது (படம் 9.5). நியூட்ரான் உணர்கருவியொன்றும் படத்தில் காட்டியவாறு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குறிப்பிட்ட சாய்கோணத்தில் (θ) எந்தத் திசைவேகமுடைய (v) நியூட்ரான்கள், பிராக்கின் விதியை (சமன்பாடு 9·35) யொட்டி அமைகின்றனவோ, அவை மட்டும் தான் உணர்கருவியை அடையமுடியும். இப்பொழுது, படிகத்திற்கும் உணர்கருவிக்குமிடையே உட்கவர் பொருளை வைத்துக் குறிப்பிட்ட திசைவேகமுடைய நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்பை அறியமுடியும். சாய்கோணத்தை மாற்றியமைத்து, வெவ்வேறு திசைவேகமுடைய நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்பை அறிய இயலும். இந்த முறைப்படி, 0.01 *ev* முதல் 100 *ev* வரை இயக்க ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்புகளை அறிதல் கூடும்.

9.12 உட்கவர் வாய்ப்பு ஆய்வுகளின் முடிவுகள்

முன்பே குறிப்பிட்டபடி ஓர் உட்கவர் பொருள், நியூட்ரான்களை உட்கவரும் வாய்ப்பு, உட்புகும் நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் அல்லது அவற்றின் திசைவேகத்தைப் பொறுத்து இருக்கிறது. குறிப்பாக இந்த வாய்ப்புகளை மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

குன்றந்த ஆற்றல் மண்டிலம்: இந்த மண்டிலம் வெப்ப வியல் நியூட்ரான்களையும் அதற்கும் அதிகமான இயக்க ஆற்றல் உள்ள நியூட்ரான்களையும் குறிக்கும். இந்த மண்டிலத்தில் உட்கவர் வாய்ப்பு, நியூட்ரான்களின் திசைவேகத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

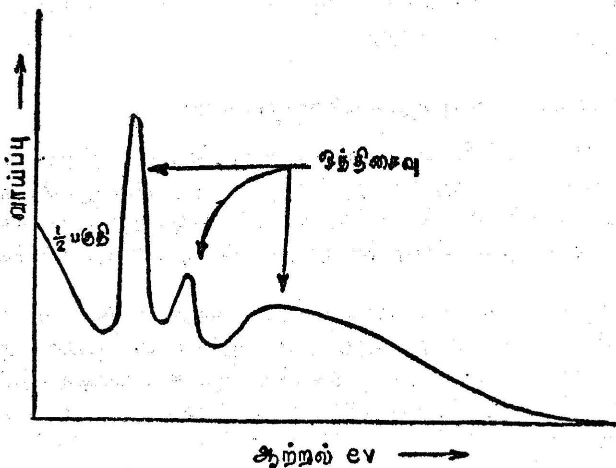
$$\sigma_a \propto \frac{1}{v}$$

எனவே, இந்தப் பகுதியை $\frac{1}{v}$ 'மண்டிலம்' என்று குறிப்பிடுவதுண்டு.

இதற்கு அடுத்த மண்டிலம், 'ஒத்திசைவு உட்கவர் வாய்ப்பு மண்டிலம் (resonance absorption cross section) என்று பெயர் பெறும். உட்கவர் தனிமங்கள், குறிப்பாக அணு எண் *A*-யின் மதிப்பு 100-க்கும் அதிகமாகக் கொண்ட தனிமங்கள் நியூட்ரானின் குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றலுக்கு உட்கவர் வாய்ப்பு மிக அதிகமாகக் கொண்டவைகளாக இருக்கின்றன. காட்டாக, ${}_{92}U^{238}$ தனிமம், 5 *ev* இயக்க ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களை வெகு

வாக உட்கவர்கிறது, உட்கவர் வாய்ப்புப் பல ஆயிரம் பாண்களைக் கொண்டதாக இருக்கிறது. வெள்ளி, தங்கம் போன்ற தனிமங்கள் குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களுக்கு ஒத் திசைவு உட்கவரும் தன்மை பெற்றதாக இருக்கின்றன.

ஒத்திசைவு உட்கவர் தன்மையின் காரணம், தனிமங்களின் அணுக்கருக்கள், குறிப்பிட்ட சில, 'ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய ஆற்றல் மட்டங்களை'க் கொண்டிருப்பதனால்தான் என்பதை முன்பே அறிந்தோம். எனவே, ஒத்திசைவு உட்கவர் மண்டிலம் ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கும் மாறுபடுகிறது. வெவ்வேறு ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான்களின் உட்கவர் வாய்ப்பைப் படம் (9.6) விளக்குகிறது.



படம் 9.6

நியூட்ரான் உட்கவர் வாய்ப்பு ஆய்வுகளின் முடிவுகள்

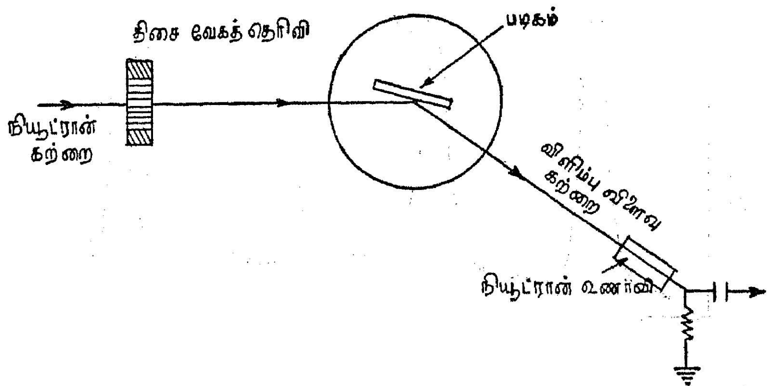
9.13 நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவு (Neutron Diffraction)

ஒரு படிகத்தளம் மந்த நியூட்ரான்களை, பிராக் விதிப்படி விளிம்பு விளைவுக்கு உட்படுத்த முடியும் என்று கண்டோம். சமன்பாடு (9.35)-ன்படி மந்த நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலை (E)

$$E = \tfrac{1}{2} mv^2 = \frac{n^2 h^2}{8d^2 m^2 \sin^2 \theta} \qquad (9.36)$$

எனக் குறிப்பிடலாம். எனவே, ஒரு திசைவேகத்தைத் தெரிவியுடன்

இணைத்து அமைக்கப்பட்ட படிக ஆற்றல் வரைவி, படிக இடை வெளி 'd' யைக் காணப் பயன்படும். இதற்கான நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவுப் படிக ஆற்றல்மானி ஒன்றைப் படம் (9.7) காட்டுகிறது.



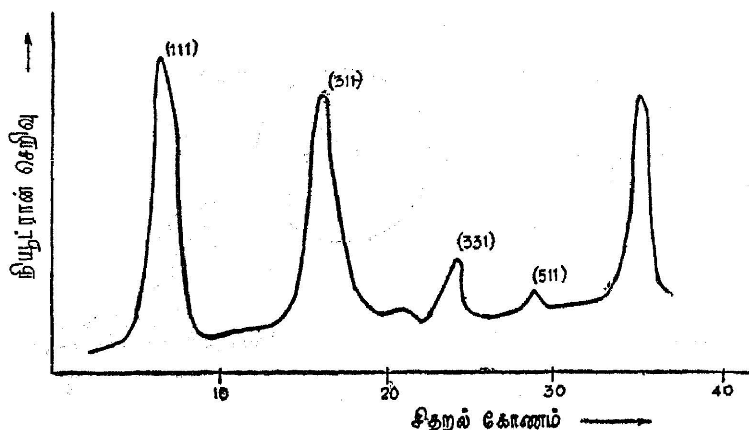
படம் 9·7
நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவுமானி செயல்படும் முறை

ஒரு திசைவேகத் தெரிவி மூலம் தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட, குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றல் கொண்ட நியூட்ரான் கற்றை, குறிப்பிட்ட படிகம் ஒன்றை வந்தடைகின்றது. நியூட்ரான் வந்தடையும் சாய்கோணத்தைப் படிகம் பொருத்தப்பட்ட மேசையைத் திருப்பு வதன் மூலமாக மாற்றமுடியும். படிகத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப் பட்ட நியூட்ரான் கற்றைகள் ஒரு BF_3 நியூட்ரான் உணர் கருவியை வந்தடைகின்றன. படிகம் சுழற்றப்படும் கோணத்தைப் போல இருமடங்கு கோணத்திற்கு உணர்கருவி வைக்கப்படும் புயம் தானாகவே திரும்புமாறு பற்சக்கர அமைப்புகள் பொருத் தப்பட்டிருக்கின்றன. எனவே, பிராக் விதிப்படி வெவ்வேறு குறிப்பிட்ட சாய்கோணத்திற்கும் வலுவூட்டு எதிரொளி நியூட் ரான்கள், உணர்கருவியை வந்தடையும். படம் (9.8) ஓர் உணர் கருவியின் கோணத்திற்கும், வந்தடையும் நியூட்ரான்களின் செறிவுக்குமான மாதிரிப் படம். இது பல முகட்டு உச்சிகளைக் (peaks) கொண்டிருக்கிறது.

இந்த முகட்டு உச்சிக்கான, கோண மதிப்புகளைக் கொண்டு பிராக் விதிப்படி, dயின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

'd' யின் மதிப்பிலிருந்து மில்லர் சுட்டு எண்ணிகள் (Miller nidices) காண்பது எளிது. மேலும், படிகவியல் முறைப்படி, மில்லர்

சுட்டு எண்களைக்கொண்டு, ஒரு படிகத்தின் அகச்சீரமைப்பு (internal symmetry) காணவும் இயலும். எக்ஸ்-கதிர்கள் விளிம்பு விளைவு



படம் 9.8

படிகத்தில் நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவு ஆய்வு : நியூட்ரான் செறிவு-சிதறல் கோணம் தொடர்பு

கொண்டு கிடைக்கப்பெறும் தகவல்களைவிட, நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவுகொண்டு அணு அமைப்புபற்றிப் பல புதிய தகவல்களைப் பெற முடியும். இரு முறைகளையும் ஒப்புநோக்கும் அட்டவணையைக் கீழே காணலாம்.

அட்டவணை 9·1

எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பு விளைவு	நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவு
(1) சிறப்பியல் எக்ஸ்-கதிர்களே மூலமாகச் செயல்படுகின்றன.	அணு உலைதான் பொதுவாக மூலமாகச் செயல்படுகிறது. எனவே, நியூட்ரான்கள் ஆற்றல் பலதரப்பட்டது.
(2) கதிரைச் சிதறடிக்கும் மையம் சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்கள் ஆகும்.	நியூட்ரான்களைச் சிதறடிக்கும் மையம், அணுக் கருக்களே.
(3) சிதறலுற்ற கதிர்களின் செறிவு சிதறச் செய்யும் தனிமத்தின் நிறை எண்ணைப் பொறுத்து இருக்கும்.	சிதறல் செறிவு, எப்படியும் மாறிமாறி இருக்கும் (Random).

அட்டவணை 9·1 (தொடர்ச்சி)

எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பு விளைவு	நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவு
(4) இலேசான தனிமங்களான ஹைட்ரஜன் போன்றவை குறைந்த எண்ணிக்கை எலக்ட்ரான்களையே கொண்டிருப்பதால், சிதறல் செறிவு குறைவு.	சிதறல் விளைவு அணுக்கருவை மையமாகக் கொண்டு இருப்பதால், குறைந்த நிறை எண் கொண்ட தனிமங்களிலும் சிதறல் செறிவு மிகுந்து இருக்கும். இது புரோட்டின், ஐஸ் போன்றவைகளின் சீரமைப்பு ஆய்வுக்கு மிகவும் ஏற்றது.
(5) KCl போன்ற நிறை எண் நெருங்கியுள்ள தனிமங்களைக் கொண்ட படிகத்தினால் ஏற்படும் சிதறலைக்கொண்டு அது K அல்லது, Cl போன்ற எந்த அணுவினால் ஏற்பட்ட சிதறல் என்று கண்டு கொள்ள இயலாது.	கட்டம், மாறுதல் போன்ற சில சிறப்புப் பண்புகளால் சிதறலைப் பகுத்து அறிதல் எளிதாகும்.
(6) சிதறல், எப்போதும், ஒரு + கட்ட மாறுதலை ஏற்படுத்தும்.	சிதறல் (+) அல்லது (−) கட்ட மாறுதலை ஏற்படுத்தும்.
(7) காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல் பண்புகளை உணர முடியாது.	நியூட்ரான்களுக்குத் தற்சுழற்சியும் காந்தத் திருப்பு திறனும் இருப்பதால், காந்தச் செயலெதிர்ச் செயல் பண்புகளை உணர முடியும். இது திடப்பொருளியலில் மிக மிகப் பயன்தருவதாகும்.
(8) பருப்பொருள், எக்ஸ்-கதிர்களை வெகுவாக உட்கவருகிறது.	பருப்பொருளுக்கு நியூட்ரான் உட்கவர் திறன் மிகக்குறைவு. எனவே, செறிவு குறைந்த கற்றைகளையும் பயன்படுத்தலாம்.
(9) சீரணி அலைவுகளைக் (lattice vibration)) காண இயலாது.	இயலும்.
(10) பொதுவாக ஒளிபடக் கருவியைக் கொண்டு உணர்கிறோம்.	உணர, BF_3 உணர்கருவிதான் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப் படுகிறது.

9.14 கட்டற்ற நியூட்ரான்களின் அரை வாழ்வுக் காலம் (Half-life of the free-neutrons)

ஒரு கட்டற்ற நியூட்ரான், β^- துகளை வெளிவீசக்கூடிய 1.1×10^3 நொடிகள் அரை வாழ்வையுடைய ஒரு கதிரியக்க மூலமாகச் செயல்படும்.



$${}_0n^1 \longrightarrow {}_1H^1 + \beta^- + \bar{\nu}$$

இந்தக் கதிரியக்கத்தில் வெளிப்படும் ஆற்றல் 0.78 *Mev* ஆகும். இதுவே ஒரு நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையேயுள்ள நிறை வேறுபாட்டையும் குறிக்கும் என்பது தெளிவு.

பயிற்சி (1): குறிப்பிட்ட இயக்க ஆற்றலுடைய நியூட்ரான் களுக்கான ${}_{82}Pb^{207}$ (n, ν) அணு வினை வாய்ப்பு 1 பாண் என்றால், 10 செ.மீ. தடிமனுள்ள ${}_{82}Pb^{207}$-ல் ஊடுருவிச் செல்லும் நியூட்ரான்களின் செறிவு எந்த அளவுக்குக் குறையும்? (Pb-ன் அடர்த்தி 11 கிராம் / க.செ.மீ.)

விடை: நியூட்ரான்கள் ${}_{82}Pb^{207}$-க்குள் x செ.மீ. உட்சென்றால் சமன்பாடு (9.17)-ன்படி,

$$I = I_0\, e^{-N\sigma x}$$

$$\sigma = \frac{ln\,(I_0 / I)}{Nx}$$

1 க.செ. மீட்டரில் உள்ள ${}_{82}Pb$ அணுக்கள்,

$$N = \frac{6.025 \times 10^{23} \times 11}{207}$$

$x = 10$ செ.மீ.

$\sigma = 1$ பாண் $= 1 \times 10^{-24}\ cm^2$

$$\therefore\ \sigma x N = ln\ \frac{I_0}{I}$$

$$\frac{1 \times 10^{-24} \times 10 \times 6.025 \times 10^{23} \times 11}{207} = ln\ \frac{I_0}{I}$$

$$0.32 = ln\ \frac{I_0}{I}$$

$$\frac{I_0}{I} = 0.73$$

எனவே, நியூட்ரானின் செறிவு 73% குறைந்துவிடும்.

(2) ஒரு குளிர் நியூட்ரான் கற்றையின் பெரும ஆற்றல் 0.0016 ev. இதற்கான அலைநீளத்தைக் காண். இந்த ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்களைத் தெரிவிக்கக்கூடிய படிகத்தின் சிறுமப் படிக இடைவெளித் தொலைவு என்ன?

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

E-ன் மதிப்பு எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கொடுக்கப்பட்டால்,

$$1\ ev = 1.602 \times 10^{-9}\ \text{J}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE \times 1.602 \times 10^{-9}}} \quad (E\text{-ன் மதிப்பு } ev\text{-ல்})$$

$$h = 6.6 \times 10^{-34}\ \text{Joule, sec.}$$

$$m = 1.66 \times 10^{-27}\ \text{kgm}$$

$$\therefore \lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1.66 \times 10^{-27} \times E \times 1.602 \times 10^{-19}}}$$

$$= \frac{28.6}{\sqrt{E}} \times 10^{-12}\ \text{மீட்டர்.}$$

$$E = .0016\ ev$$

$$\therefore \lambda = \frac{28.6}{.04} \times 10^{-12}$$

$$= 7.1 \times 10^{-10}\ \text{மீட்டர்கள்}$$

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

$$n = 1$$

$$\sin\theta = 1 \longrightarrow \text{பெரும மதிப்பு}$$

$$\therefore d = \frac{\lambda}{2} = 3.6 \times 10^{-10}\ \text{மீட்டர்கள்}$$

$$= .036\ \text{Å}$$

வினாக்கள்

1. நியூட்ரான்கள் கிடைக்கப்பெறும் முறைகளைப்பற்றிக் குறிப்பெழுதுக.

2. நியூட்ரான்களை உணர்வது எவ்வாறு?

3. நியூட்ரான்களின் பண்புகளைப்பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுதவும்.

4. நியூட்ரான்களால் ஊக்குவிக்கப்படும் அணு வினைகளைப் பற்றி ஒரு குறிப்பு எழுதுக.

5. நியூட்ரான் உட்கவர் வாய்ப்புக் காண்பது எவ்வாறு? வெவ்வேறு திசைவேகமுள்ள நியூட்ரான்களுக்கான உட்கவர் வாய்ப்புகளை அறியும் முறைகளை விவரி.

6. நியூட்ரான் விளிம்பு விளைவுபற்றிக் கட்டுரை எழுதவும்.

7. இண்டியம், (1.44 *ev*) நியூட்ரான்களை ஒத்திசைவு உட்கவர் வாய்ப்பு (σ_r) 28,000 பான்களைப் பெற்றது. நியூட்ரான் கற்றையின் செறிவில் 1% உட்கவரத் தேவையான இண்டியத்தின் தடிமன் காண். இண்டியத்தின் நிறை 114.7 *a.m.u.* அதன் அடர்த்தி எண் 7.3 கிராம்/க.செ.மீ.

8. 0.025 *ev* இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களின் அலை நீளம் காண். அந்த நியூட்ரான்கள், ஒரு படிக ஆற்றல் தெரிவியின் வழியாகத் தெரிந்தெடுக்க வேண்டுமென்றால், படிகத்தின் சிறுமத் தள இடைவெளியைக் காண்.

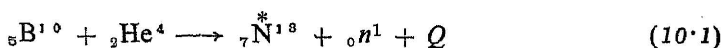
9. சிறு குறிப்பெழுதுக:
   (1) நியூட்ரான் திசைவேகத் தெரிவிகள்.
   (2) நியூட்ரான் நிறை காணல்.
   (3) வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள்.
   (4) நியூட்ரான் உட்கவர் வாய்ப்பு.
   (5) கட்டற்ற நியூட்ரானின் அரை வாழ்வுக்காலம்.

10. செயற்கைக் கதிரியக்கம்

10.1 கண்டுபிடிப்பு (Induced Radioactivity)

செயற்கைத் தனிம மாற்றங்களுக்கான வினைகளைப் பார்க்கும் போது, அவற்றில் சில சேய்க்கருக்கள், நிலைப்பாடுடையனவாக இல்லாமல் மேலும் சிதைகின்றன என்று கண்டோம்.

இவ்வாறு, சில தனிமங்களைச் செயற்கையாகக் கதிரியக்கம் கொண்டதாகச் செய்ய முடியும் என்பதை ஜோலியட்-கியூரி இருவரும் 1934ஆம் ஆண்டு, முதன்முதலில் கண்டுபிடித்தனர். மற்ற நியூட்ரான்களால் தோற்றுவிக்கப்படும் அணுக்கரு வினைகளை ஆராயவேண்டி, அவர்கள் α-துகள்களால் போரான், அலுமினியம் போன்ற தனிமங்களைத் தாக்கி, நியூட்ரான்களை வெளிவீசச் செய்தார்கள். அப்பொழுது பல நேரங்களில் தோற்றுவிக்கப்படும் சேய்க்கரு தொடர்ந்து அயனியாக்கத்தைக் கொடுத்துக் கொண்டிருப்பதைத் தற்செயலாகக் கண்டார்கள். மந்த நியூட்ரான்களைப் பெறுவதற்காகப் பயன்படுத்தப்படும் ஏவு α-துகள்களால், இவ்வாறு அயனியாக்கம் நடைபெறுகிறதோ என்ற ஐயப்பாடு முதலில் இருந்தது. ஆயினும், இந்த α-துகள் ஏவுதல் அடியோடு நிறுத்தப்பட்ட பிறகும், எஞ்சிய பகுதியினால் அயனியாக்கம் தொடர்ந்து நடைபெற்றது. மேலும், சேய்க்கருவின் இந்தச் செயலாக்கம், எக்ஸ்பொனென்ஷியல் (e-ன் மடி) விகிதத்தில் குறைந்துகொண்டே வந்தது. அதாவது அயனியாக்கச் செறிவின் லாக்ரதத்திற்கும் நேரத்திற்கும் இடையே ஒரு வரைபடம் வரைந்தால், அது ஒரு நேர்கோடாக அமைகிறது. மேலும், இந்தச் சிதைவு வீதம், வெவ்வேறு இலக்குகளுக்கு வெவ்வேறு மதிப்பைக் கொண்டிருந்தது. எனவே, அவர்கள் மந்த நியூட்ரான்களால் தாக்கப்படும் அணுக்கரு, அந்த நியூட்ரான்களைத் தன்வசப்படுத்திப் புதிய அணுக்கருவாக மாறுகிறதென்றும், இந்தப் புதிய சேய்க்கரு ஒரு பாசிட்ரானை (β^+) வெளிவீசுகிறதென்றும் விளக்கினார்கள்.



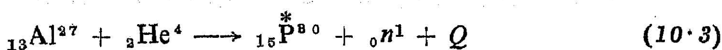
$$_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_7\overset{*}{N}{}^{13} + {}_0n^1 + Q \qquad (10{\cdot}1)$$



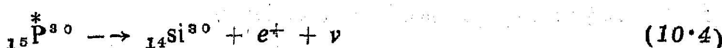
$$_7\overset{*}{N}{}^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + \beta^+ + \nu \qquad (10{\cdot}2)$$

(T = 10 விநாடி)

மேற்குறிப்பிட்டபடி இந்த அணு வினை நடைபெறுவதாகக் கொள்ளலாம். $_7N^{13}$-ன் அரை வாழ்வுக் காலம் 10 விநாடிகள். ν-நியூட்ரினோ.



$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_{15}\overset{*}{P}{}^{30} + {}_0n^1 + Q \qquad (10{\cdot}3)$$



$$_{15}\overset{*}{P}{}^{30} \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + e^+ + \nu \qquad (10{\cdot}4)$$

(T = 3 விநாடிகள்)

$\overset{*}{N}{}^{13}$; $\overset{*}{P}{}^{30}$ போன்ற தனிமங்கள், இயற்கையாகக் கிடைக்கும் நிலைப்பாடுடைய தனிமங்கள் வரிசையில் இல்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. எனவே, உண்மையாகவே இந்த அணுக்கருக்கள் உண்டாக்கப்பட்டனவா? என்று அறியவேண்டும். இதற்கான ஆய்வுகளை இவ்விரு விஞ்ஞானிகளும் பின்வரும் வழிகளில் தொடர்ந்தனர்.

முதலில் வினை (10.1) ஐ எடுத்துக்கொள்வோம். α-துகள்களால் போரான் நைட்ரைடைச் சில நிமிடங்கள் தாக்குறச் செய்த பிறகு இந்தக் கலவையைக் காஸ்டிக் சோடாவுடன் கலந்து சூடேற்றினார்கள். இப்பொழுது வேதியியல் வினையால் அம்மோனியா வாயு [NH_3] வெளிவரும். இந்த வாயு கதிரியக்கம் கொண்டிருப்பதை அவர்கள் நிரூபித்தார்கள். எனவே, அம்மோனியாவில் உள்ள நைட்ரஜன் அணுக் கருதான் கதிரியக்கம் கொண்டிருக்கிறது என்பது தெளிவாகிறது. இதுபோலவே வினை (10.3)-ல் முதலில் α-துகள்களால் தாக்கப்பட்ட அலுமினியக் கலவையை ஹைட்ரோக்ளோரிக் அமிலத்தில் கரைத்தார்கள். இப்பொழுது இந்தக் கலவையிலுள்ள பாஸ்பரஸ் அணு பாஸ்பைன் (phosphine) வாயுவாக மாறுகிறது. இந்த வாயு கதிரியக்கம் கொண்டதாக இருக்கிறது என்றும் கண்டார்கள். மேலும், இந்த வாயுவை, ஹைட்ரோக்ளோரிக் அமிலத்தில் கரைக்கப்பட்ட சிர்கோனியத் தனிமத்தோடு (Zirconium) கலந்து சிர்கோனியம் பாஸ்பேட் தயாரித்தார்கள். அது கரைசலாக அடியில் தங்கிவிடும். இந்தக் கரைசலில் மட்டும் கதிரியக்கம் இருப்பது உறுதி செய்யப்பட்டது. மேலும், ஒரு காந்தப்புல ஆற்றல்மாலை வரைவியைக்கொண்டு,

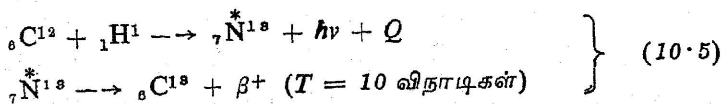
இந்தக் கதிரியக்கத்தினால் வெளிவீசப்படும் பாசிட்ரான்களின் ஆற்றலைக் கண்டறிந்தனர். இந்த ஆற்றல் பங்கீட்டு வினைக் கோடு ஓர் அறுதியிட்ட உச்ச வரம்பைக் கொண்ட தொடர்ச்சியான அமைப்பைக் கொண்டுள்ளது என்பதும் மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. எனவே, இப் புதிய நிகழ்ச்சி, செயற்கை முறைகளால் தூண்டப் பட்ட போதிலும், ஓர் உண்மையான கதிரியக்கம்தான் என்பது உறுதியாக மெய்ப்பிக்கப்பட்டது.

10.2 செயற்கைக் கதிரியக்கத்தைப்பற்றிய ஆராய்ச்சிகள்

செயற்கைக் கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும் பல விஞ்ஞானிகள் விரிவான ஆராய்ச்சிகளை மேற்கொண்டனர். α-துகள்கள்மட்டுமின்றி, புரோட்டான்கள், டியூட்ரான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகியவைகளால் தாக்கப்படும்போதும், செயற்கைக் கதிரியக்கம் தூண்டப்படுகிறது என்றும், பாசிட்ரான்கள் மட்டுமின்றி எலக்ட்ரான்களும் வீசப்படுகின்றன என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

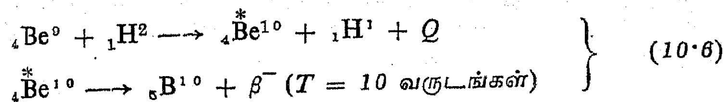
கீழ்க்கண்ட வினைகளைக் குறிப்பாக மனத்தில் கொள்வது நலம்.

புரோட்டானால் தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம்



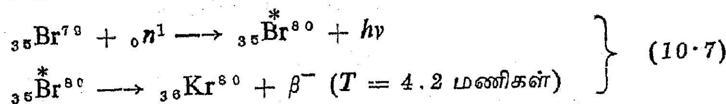
$$\left.\begin{aligned} &{}_6C^{12} + {}_1H^1 \longrightarrow {}_7\overset{*}{N}^{13} + h\nu + Q \\ &{}_7\overset{*}{N}^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + \beta^+ \ (T = 10 \text{ விநாடிகள்}) \end{aligned}\right\} \quad (10\cdot5)$$

டியூட்ரானால் தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம்



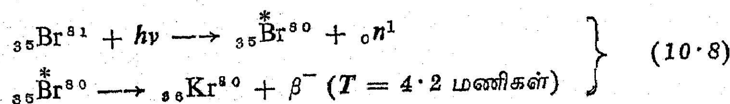
$$\left.\begin{aligned} &{}_4Be^9 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_4\overset{*}{Be}^{10} + {}_1H^1 + Q \\ &{}_4\overset{*}{Be}^{10} \longrightarrow {}_5B^{10} + \beta^- \ (T = 10 \text{ வருடங்கள்}) \end{aligned}\right\} \quad (10\cdot6)$$

நியூட்ரானால் தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம்



$$\left.\begin{aligned} &{}_{35}Br^{79} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{35}\overset{*}{Br}^{80} + h\nu \\ &{}_{35}\overset{*}{Br}^{80} \longrightarrow {}_{36}Kr^{80} + \beta^- \ (T = 4.2 \text{ மணிகள்}) \end{aligned}\right\} \quad (10\cdot7)$$

ஒளி பயன் சிதைவில் உருவாகும் கதிரியக்கம்



$$\left.\begin{aligned} &{}_{35}Br^{81} + h\nu \longrightarrow {}_{35}\overset{*}{Br}^{80} + {}_0n^1 \\ &{}_{35}\overset{*}{Br}^{80} \longrightarrow {}_{36}Kr^{80} + \beta^- \ (T = 4\cdot2 \text{ மணிகள்}) \end{aligned}\right\} \quad (10\cdot8)$$

இப்பொழுது 500-க்கு மேற்பட்ட செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் உருவாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலங்கள், 0.02 நொடி முதல் 10 ஆண்டுகள் வரை இருக்கின்றன. மேலும், அவற்றின் ஆற்றல் 13 Mev வரை இருக்கின்றன.

10.3 செயற்கைக் கதிரியக்கம் தோன்றக் காரணம்

அணுக்கருவின் புரோட்டான்-நியூட்ரான் கொள்கை, செயற்கைக் கதிரியக்கத்தை நன்கு விளக்குகிறது. குறைந்த நிறை எண்ணுள்ள தனிமங்களின் அணுக்கருக்களில் புரோட்டான் களும் நியூட்ரான்களும் சம அளவு இருக்கும். அதாவது $\left(\frac{n}{p}\right) = 1$ என்றிருக்கும். தனிமத்தின் அணு எண் அதிகமானுல், புரோட் டான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகிறது. எனவே, இந்தப் புரோட்டான்களிடையே கூலும் எதிர்விசை செயல்படுகிறது. இந்த எதிர் விசையை ஈடுசெய்யும் வகையில், மின்னூட்டமற்ற நியூட்ரான்கள், அதிக அளவில் புரோட்டான்களினூடே இருந் தால், அவை ஒரு பரிமாற்று ஈர்ப்பு விசையால் ஈர்க்கப்படும். எனவே, அதிக அணு எண்ணுள்ள அணுக்கருக்கள் நிலைப்பாடுடை யனவாக இருக்கவேண்டுமானுல் $\frac{n}{p} > 1$ ஆக இருத்தல் அவ சியம். எனவே, ஒவ்வோர் அணுக்கருவும் நிலைப்பாடுடையதாக இருக்க, குறிப்பிட்ட $\frac{n}{p}$ இருக்கவேண்டும். இதில் n அல்லது p அதிகமாக இருந்தால் நிலைப்பாட்டையடைய, ஒரு கருத் துகள் நியூட்ரான் நிலையிலிருந்து, புரோட்டான் நிலைக்கோ, புரோட் டான் நிலையிலிருந்து நியூட்ரான் நிலைக்கோ முறையே, β^-, β^+ துகள்களை வெளியேற்றித் தாவும். இந்தக் கருத்தை விரிவாக மற்றோர் இடத்தில் பார்ப்போம்.

10.4 செயற்கைக் கதிரியக்க ஆய்வுகள் தந்த புதுமை விளைவுகள்

I. *K*-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்தல் (*K*-electron capture)

β-துகள் கதிரியக்கக் கொள்கைப்படி,

$p \longrightarrow n + \beta^+ + \nu$ என்ற அணுவினையில் ஒரு புரோட்டான், நியூட்ரான் நிலையையடைய, ஒரு பாசிட்ரானையும், நியூட்ரினோ வையும் வெளிவீசும் என்று கண்டோம். மாறுக, ஆற்றல் பரிமாற்ற விதிகள் அனுமதிக்குமாயின், ஒரு புரோட்டான், அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான் ஒன்றைத் தன்வசப் படுத்தி நியூட்ரானுக மாறக்கூடும். எனினும், இது எப்பொழுதும்

நிகழமுடியாது. ஏனெனில், ஒரு நியூட்ரானுக்கும், ஒரு புரோட்டானுக்கும் உள்ள நிறை வேறுபாடு, ($1.00866 - 1.00728\ a.m.u.$) $0.00138\ a.m.u.$ ஆகும். எலக்ட்ரானின் நிறையோ $0.0055\ a.m.u.$ தான். எனவே, தேவைப்படும் மீத ஆற்றல், ஒரு கிளர்ச்சியுள்ள அணுக்கருவினுல் கொடுக்க முடியுமானுல் சுற்றப்பாதை எலக்ட்ரானை, அதன் அணுக்கரு வசப்படுத்த முடியும். பொதுவாக K-எலக்ட்ரான்கள்தாம் இவ்வாறு வசப்படுத்தப்படுகின்றன.

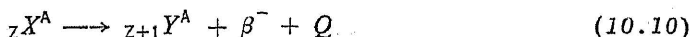


$$_{1}H^{1} + e^{-} \longrightarrow n + \gamma \qquad (10\cdot 9)$$

K-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்தப்பட்டால், அந்த நிலைக்கு L-எலக்ட்ரான் ஒன்று தாவும். எனவே, அந்தத் தனிமத்தின் K-சிறப்பு எக்ஸ்-கதிரொன்று வீசப்படும்.

ஒரு செயற்கைத் தனிமம், எந்த முறையில் சிதைவுறும் என்பதை ஆற்றல் பரிமாற்ற விதிகளைக்கொண்டு அறியலாம்.

(a) எலக்ட்ரான் கதிரியக்கம் : இந்த அணுக்கரு வினை,



$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + \beta^{-} + Q \qquad (10.10)$$

ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி,

$$Q = \left[M_n \left({}_{Z}X^{A} \right) - M_n \left({}_{Z+1}Y^{A} \right) - m \right] c^2 \qquad (10.11)$$

$M_n \longrightarrow$ அணுக்கருவின் நிறை

அணுவின் நிறை M_a என்று கொண்டால்,

$$M_a \left({}_{Z}X^{A} \right) = \left[M_n \left({}_{Z}X^{A} \right) + Zm \right] \qquad (10.12)$$

$\therefore$ சமன்பாடு (10.11)-ன்படி,

$$\frac{Q}{c^2} = M_a \left[{}_{Z}X^{A} \right] - Zm - M_a \left({}_{Z+1}Y^{A} \right) + \left(Z+1 \right) m$$

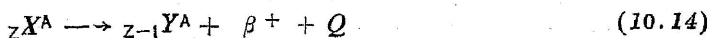
$$\frac{Q}{c^2} = M_a \left[{}_{Z}X^{A} \right] - M_a \left({}_{Z+1}Y^{A} \right) - m$$

எலக்ட்ரான் கதிரியக்கம் தன்னிச்சையாக நடைபெறவேண்டுமானுல் Q, (+) ஆக இருக்கவேண்டும். அதாவது,

$$M_a \left[{}_{Z}X^{A} \right] > M_a \left[{}_{Z+1}Y^{A} \right] \qquad (10.13)$$

செயற்கைத் தனிமத்தின் அணு நிறை, அந்தத் தனிமத்தின் அணு எண்ணைவிட ஓர் அணு எண் அதிகமுள்ள, ஐசோபாரின் அணு நிறையைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும்.

(b) பாசிட்ரான் கதிரியக்கம்: இதன் அணுக்கரு வினை



$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + \beta^{+} + Q \qquad (10.14)$$

எனவே,

Q-ன் மதிப்பு

$$Q = \left[M_n \left({}_{Z}X^{A}\right) - \left(M_n \; {}_{Z-1}Y^{A}\right) - m \right] c^2$$

$$\frac{Q}{c^2} = M_a \left({}_{Z}X^{A}\right) - Zm - M_a \left({}_{Z-1}Y^{A}\right) + (Z-1)\, m - m$$

$$= M_a \left({}_{Z}X^{A}\right) - M_a \left({}_{Z-1}Y^{A}\right) - Zm$$

பாசிட்ரான் கதிரியக்கம் தன்னிச்சையாக நடைபெற Q $(+)$ ஆக இருத்தல் வேண்டும்.

$$\therefore \quad M_a \left({}_{Z}X^{A}\right) > M_a \left({}_{Z-1}Y^{A}\right) + Zm \qquad (10 \cdot 15)$$

(c) K-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்துதல்: அணுக்கரு வினை,



$$_{Z}X^{A} + e^{-} \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A} \qquad (10.16)$$

$$\therefore \; \frac{Q}{c^2} = M_a \left({}_{Z}X^{A}\right) - M_a \left({}_{Z-1}Y^{A}\right)$$

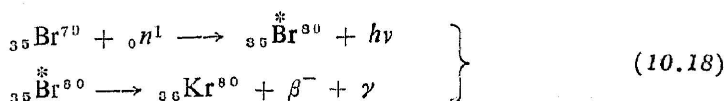
K-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்தும் அணுக்கரு வினை தன்னிச்சையாக நிகழ

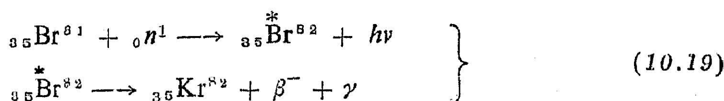
$$M_a \left({}_{Z}X^{A}\right) > M_a \left[{}_{Z-1}Y^{A}\right] \qquad (10.17)$$

II. அணுக்கரு ஐசோமர்கள் (Nuclear Isomerism)

ஒரே அணு எண்ணையும், ஒரே நிறை எண்ணையும் கொண்ட இரு அணுக்கருக்கள், கதிரியக்க முறையில் சிதைவுறும்போது ஒரே அரை வாழ்வுக் காலத்தைக் கொண்டிராமல் இரு தனித் தனியான அரை வாழ்வுக் காலத்தைக் கொண்டிருப்பது கண்டு

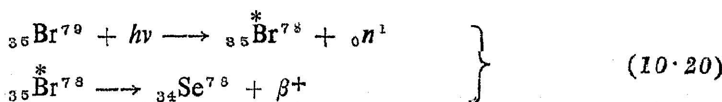
பிடிக்கப்பட்டது. இரு அணுக்கருக்களின் அணு எண்ணும், நிறை எண்ணும், ஒரே மதிப்புள்ளவையாதலால் அந்த அணுவின் வேதியியல் பண்பும் இயற்பியல் பண்பும் மாறுது. ஆயினும், கதிரியக்கப் பண்பு மட்டும் மாறுகிறது. இந்தத் தன்மை பெற்ற அணுக்கருக்களை 'அணுக்கரு ஐசோமர்கள்' என்பர். எடுத்துக்காட்டாக, $_{35}Br^{80}$ என்ற செயற்கைக் கதிரியக்கம் பெற்ற அணுக்கருவைக் காண்போம். நிலைப்பாடுடைய புரோமினின் இரு ஐசோடோப்புகள் Br^{79}, Br^{81} ஆகும். இவை 49 : 51 என்ற விகிதத்தில் ஒரு புரோமின் மூலக்கூறில் கலந்து இருக்கும். இந்தப் புரோமினை மந்த நியூட்ரான்களைக்கொண்டு தாக்கினுல், பின்வரும் அணுக்கரு வினைகள் நடைபெறுகின்றன.

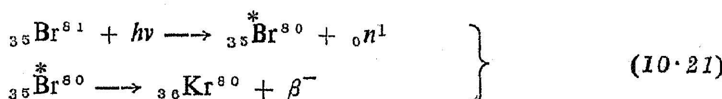




இந்த இரு எலக்ட்ரான் கதிரியக்கத்திற்குமான அரை வாழ்வுக் காலம் 18 விநாடியும், 4.2 மணியும், 36 மணியும் ஆகும்.

இதே புரோமினை, காமாக் கதிர்களைக்கொண்டு தாக்கினுல், பின்வரும் அணுக்கரு வினைகள் நடைபெறுகின்றன.





இந்த இரு கதிரியக்கத்திற்கான அரை வாழ்வுக் காலம் 18 விநாடியும், 6.3 விநாடியும் 4.2 மணியும் ஆகும்.

அணுக்கரு வினைகள் (10·18), (10·19), (10·20) மற்றும் (10·21) இவைகளைக் கூர்ந்து பார்க்கும்போது, இவற்றில் $_{35}Br^{80}$ (10·18)-க்கும் (10·21)-க்கும் பொதுவான சேய்க்கரு. எனவே,

$T = 36$ மணி என்பது, $_{35}Br^{82}$-க்கும் $T = 6 \cdot 3$ விநாடிகள் என்பது $_{35}Br^{78}$-க்கும் பொருந்தும். $_{35}Br^{80}$-க்கு, $T = 18$ விநாடிகள், 4.2 மணி என்ற இரு அரை வாழ்வுக் காலங்கள் உண்டு.

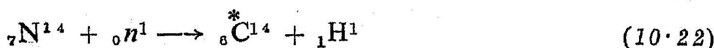
வியஸாக்கர் (Weizsacker) என்பவர், இவ்வாறு ஒரே அணுக்கரு, இரு அரை வாழ்வுக் காலம் கொண்டதாக இருக்க முடியும் என்பதை நிருபித்தார். செயற்கைக் கதிரியக்கம் பெற்ற தனிமங்கள் 'ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய சில ஆற்றல் மட்டங்களை'க் கொண்டவையாக இருக்கும் என்றும், அங்ஙனம் உள்ள அணுக்கரு சிதைவுறும்போது, வெவ்வேறு அரை வாழ்வுக் காலம் கொண்டதாக இருக்க முடியும் என்றும் எடுத்துக்காட்டினர்.

10.5 செயற்கைக் கதிரியக்கத்தினல் விளைந்த பயன்கள்

(a) புரோட்டான்-நியூட்ரான் கொள்கையை உறுதி செய்யும் வகையில் இந்தக் கதிரியக்கமும் அமைகிறது.

(b) மருத்துவம், உயிரியல் போன்ற விஞ்ஞான பகுதியில் செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகளின் பயன் மிகமிக அதிகம். நோயைக் கண்டறியும் மெய்யூடகங்களாகவும் (Tracers), புற்று நோய் போன்ற நோய்க் கிருமிகளைக் கொல்லவல்ல ஆற்றல் பெற்றவைகளாகவும் கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் அமைகின்றன. கடலுக்குள் இருக்கும் நீரோட்டங்களையும், வாயுமண்டலத்தின் காற்று செல்லும் திசைகளையும், தாவரங்கள் எந்தெந்தப் பகுதிகளில் எந்தெந்த உயிர்ச்சத்துகளை அதிகமாக ஈர்க்கின்றன என்பதையும் அறியக் கதிரியக்க மெய்யூடகங்கள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

(c) கதிரியக்கக் கார்பன் மூலம் கால மதிப்பீடு (Radio Carbon Dating): வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள், நைட்ரஜனைத் தாக்குவதால், கதிரியக்கக் கார்பன் தனிமம் உண்டாக்கலாம்.



$$_{7}N^{14} + {_0}n^1 \longrightarrow {_6}\overset{*}{C}{}^{14} + {_1}H^1 \qquad (10 \cdot 22)$$

இந்த $_{6}C^{14}$-கார்பன் ஐசோடோப், 5700 வருடங்கள் அரை வாழ்வு கொண்டு,



$$_{6}\overset{*}{C}{}^{14} \longrightarrow {_7}N^{14} + \beta^- \qquad (10.23)$$

என்று சிதைபடுகிறது.

காஸ்மிக் கதிர்களில் தேவையான அளவு வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள் இருக்கின்றன. அவை சுற்றுப்புறக் காற்றில் உள்ள நைட்ரஜனேடு செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு, கதிரியக்கக் கார்பனை உருவாக்கும். எனவே, பூமியின் சுற்றுப்புறத்திலுள்ள CO_2-ஐச் சுவாசித்து உயிர் வாழும் தாவரங்களிலுள்ள கார்பன், $_6\overset{*}{C}{}^{14}$, $_6C^{13}$, $_6C^{12}$ இவைகளைக் கொண்ட ஒரு நிலைப்பாடுடைய சம நிலையைக் கொண்டதாக இருக்கும். எனினும், தாவரம் இறந்த பிறகு, அது CO_2-ஐச் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து உட்கவராததால், கதிரியக்கக் கார்பனின் அளவு பட்டுப்போன அந்தத் தாவரத்தில் குறைந்துகொண்டே போகும். எனவே, உயிருடன் இருக்கும் ஒரு தாவரத்திலுள்ள கதிரியக்கக் கார்பனுக்கும், கதிரியக்கமற்ற கார்பனுக்கும் இடையேயுள்ள நிறை விகிதத்தையும், இறந்து பட்ட தாவரத்தினுள் உள்ள கதிரியக்கக் கார்பனுக்கும் கதிரியக்க மற்ற கார்பனுக்கும் இடையேயுள்ள நிறை விகிதத்தையும் கணக்கிட்டு, அந்தத் தாவரம் இறந்துபட்ட காலத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட இயலும்.

பயிற்சி 1: உயிருடனிருக்கும் தாவரமொன்று, தன்னுள் இருக்கும் ஒவ்வொரு கிராம் கார்பனுக்கும், ஒரு விநாடிக்கு *32* கருச்சிதைவுகளைக் கொடுப்பதாக உணர்கருவி காட்டுகிறது. ஓர் இறந்துபட்ட தாவரம், அதன் ஒவ்வொரு கிராம் கார்பனுக்கும் *21* கருச்சிதைவுகளைக் கொண்டதாக ஓர் ஆய்வாளர் கணக்கிட்டால், அந்தந் தாவரம் இறந்துபட்ட காலத்தைக் கணக்கிடுக.

[$T_{\frac{1}{2}} = 5500$ வருடங்கள்]

கதிரியக்க விதிப்படி,

$$N = N_0\, e^{-\lambda t}$$

$$2.303 \log_{10} \frac{N_0}{N} = \lambda t$$

$$\therefore\ t = \frac{2.303 \log_{10} \frac{N_0}{N}}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$$

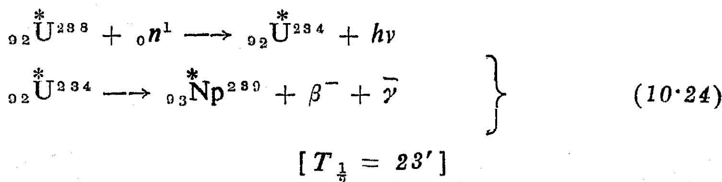
$$\therefore\ t = \frac{2.303 \log_{10} \left(\frac{32}{21}\right) \times 5500}{0.693}$$

$= 3500$ வருடங்கள்

எனவே, அந்தத் தாவரம் 3500 வருடங்களுக்கு முன் இறந்து பட்டிருக்க வேண்டும்.

(d) யுரேனியமூர்ந்த தனிமங்கள் (Transuranic Elements): நியூட்ரான்கள், தனிமங்களில் வசப்பட்டு, எலக்ட்ரான்களை வெளி வீசுவதால், புதிய சேய்க்கரு, இலக்கு அணுக்கருவைவிட ஓர் அணு எண் கூடியதாக இருக்கவேண்டும். எனவே, ஃபெர்மி, யுரேனியத்தை இவ்வாறு முதன்முதலில் மந்த நியூட்ரான்களைக் கொண்டு தாக்கி, அதுவரை கண்டுபிடிக்காத புதிய தனிமங்களைக் கண்டுபிடிக்க இயலுமா என்ற முயற்சியில் இறங்கினுர். தொடர்ந்து பலர் இவ்வித ஆராய்ச்சியில் ஈடுபட்டுப் பல புதிய தனிமங்களைக் கண்டுபிடித்தனர்.

(i) மாக்மில்லனும் அபெல்ஸனும் 1940ஆம் ஆண்டு ${}_{93}Np^{239}$-ஐக் கண்டுபிடித்தனர்.

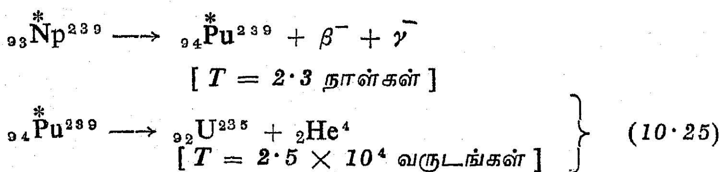


$$\left.\begin{array}{l} {}_{92}\overset{*}{U}^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}\overset{*}{U}^{234} + h\nu \\ {}_{92}\overset{*}{U}^{234} \longrightarrow {}_{93}\overset{*}{Np}^{239} + \beta^{-} + \bar{\gamma} \end{array}\right\} \quad (10{\cdot}24)$$

$$[T_{\frac{1}{2}} = 23']$$

(ii) Pu (94)

${}_{93}\overset{*}{Np}^{239}$ மேலும், β^{-} துகள்களை வீசி புளுட்டானியக் கருவைத் தோற்றுவிக்கிறது.

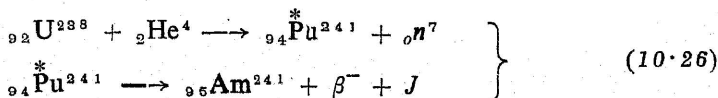


$$\left.\begin{array}{l} {}_{93}\overset{*}{Np}^{239} \longrightarrow {}_{94}\overset{*}{Pu}^{239} + \beta^{-} + \bar{\gamma} \\ \qquad [T = 2{\cdot}3 \text{ நாள்கள்}] \\ {}_{94}\overset{*}{Pu}^{239} \longrightarrow {}_{92}U^{235} + {}_{2}He^{4} \\ \qquad [T = 2{\cdot}5 \times 10^{4} \text{ வருடங்கள்}] \end{array}\right\} \quad (10{\cdot}25)$$

புளுட்டானியம் கதிரியக்கத்தினுல் ஏற்படும் ${}_{92}U^{235}$ அணுக்கரு அணுஉலை ஆராய்ச்சியில் மிகமிகப் பயன்படுகிறது.

(iii) Am (95), Cm (96)

மிகுந்த இயக்க ஆற்றல் பெற்ற α-துகள்கள் ${}_{92}U^{238}$-ல் தாக்கி ${}_{94}Pu^{241}$-ஐ உருவாக்குகிறது.



$$\left.\begin{array}{l} {}_{92}U^{238} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{94}\overset{*}{Pu}^{241} + {}_{0}n^{7} \\ {}_{94}\overset{*}{Pu}^{241} \longrightarrow {}_{95}Am^{241} + \beta^{-} + J \end{array}\right\} \quad (10{\cdot}26)$$



$${}_{95}Am^{241} \longrightarrow {}_{93}Np^{237} + {}_{2}He^{4} \quad (10{\cdot}27)$$

இதுபோலவே பெரில்லியம் (97), காலிபோர்னியம் (98), ஐன்ஸ்டீனியம் (99), ஃபெர்மியம் (100), மெண்டிலினியம் (101), நொபிலியம் (102), லாரன்சியம் (103) போன்ற தனிமங்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. 1967ஆம் ஆண்டு, ரஷ்யநாட்டு விஞ்ஞானிகள், அணு எண் 104, 105 கொண்ட தனிமங்களைக் கண்டு பிடித்துள்ளதாக அறிவித்துள்ளார்கள்.

வினாக்கள்

(1) செயற்கைக் கதிரியக்கம்பற்றி கட்டுரை எழுதுக.

(2) சிறு குறிப்பு எழுதுக:

(i) *K*-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்தல்.

(ii) அணுக்கரு ஐசோமர்.

(iii) கதிரியக்கக் கார்பன் கால மதிப்பீடு.

(iv) யுரேனியமூர்ந்த தனிமங்கள்.

(3) உயிருடனிருக்கும் தாவரமொன்று தன்னுள் இருக்கும் ஒவ்வொரு கிராம் கார்பனுக்கும் ஒரு விநாடிக்கு 32 கருச்சிதைவு களைக் கொடுப்பதாக இருக்கிறது. ஓர் இறந்துபட்ட தாவரம், அதன் ஒவ்வொரு கிராம் கார்பனுக்கும் 16 கருச்சிதைவுகளைக் கொண்டதாக இருந்தால், அந்தத் தாவரம் இறந்துபட்ட காலத்தைக் கணக்கிடுக.

11. அணுக்கருப் பிளவை
(Nuclear Fission)

11.1 முன்னுரை

யுரேனியமூர்ந்த தனிமங்களை உருவாக்க ஃபெர்மி 1934ஆம் ஆண்டு தொடங்கி செய்த முயற்சியே அணுக்கருப் பிளவை கண்டு பிடிப்பதற்கு மூல காரணம் எனலாம். அன்றுவரை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட தனிமங்களிலேயே நிறை மிகுந்ததான யுரேனியத்தை, நியூட்ரான்கள் கொண்டு தாக்கினால், நியூட்ரான்கள் உட்கவரப் பட்டு, சேய்க்கரு ஓர் எலக்ட்ரானை வெளியேற்றி, ஓர் அலகு அதிக மான அணு எண்ணைக் கொண்ட புதிய தனிமமாக மாறுகிறது என்று கண்டோம். சிற்சில சமயங்களில் யுரேனியம் போன்ற கனமான, நிலைப்பாடற்ற தனிமங்கள் நியூட்ரான்களால் தாக்கப் பட்டபோது, அவை ஏறத்தாழ இரு சமப்பகுதிகளாகப் பிளந்து கொள்கின்றன என்ற வியப்புக்குரிய ஒரு விளைவு தற்செயலாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஓர் உயிர்மம் (Cell) ஏறத்தாழ, சமமான அளவு இரண்டு உயிர்மங்களாகப் பிரிவதைப் பிளப்பு (fission) என்றழைக்கப்படுவதை மனத்திற் கொண்டு, இந்த விளைவு அணுக் கருப் பிளவை என்றழைக்கப்பட்டது.

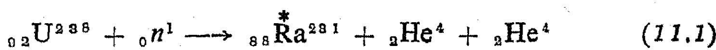
11.2 கதிரியக்கத் தனிமங்களை வேதியியல் முறைப்படி பிரித்தல்

அணுக்கரு வினையால் உருவாக்கப்பட்ட ஒரு தனிமம் பொது வாக 10^{-12} கிராம்களுக்குக் குறைவாகவே கிடைக்கிறது. எனவே, பிற தனிமங்களிலிருந்து இதைப் பிரித்தெடுப்பது எவ்வளவு கடினம் என்பது விளங்கும். கதிரியக்கத் தனிமத்தைப் பிற தனி மங்களிலிருந்து பிரிக்க 'ஓரினத் தனிம ஊர்தி' முறைகள் (carrier techniques) பெரிதும் பயன்படுத்தப்பட்டன. அதாவது, ஒரு கனமான கதிரியக்கத் தனிமத்தைப் பிறவற்றிலிருந்து பிரிக்க வேண்டுமானால், தனிம அட்டவணையில் வேதியியல் பண்புப்படி அந்தத் தனிமம் எந்தக் குழுவைச் (group) சார்ந்ததோ, அந்தக்

குழுவைச் சார்ந்த (ஓரினத் தனிமம்) இலேசான தனிமம் கொண்ட திரவக் கரைசல் ஒன்றில், அணு வினைப் பொருள்களைக் கலந்தால், இந்தக் கனம் பொருந்திய கதிரியக்கத் தனிமம், இலேசான தனிமம் கொண்ட திரவக் கரைசலோடு தனிம உப்பாகத் தங்கிவிடும். பிறகு, வடித்துப் படிகமாக்கும் (fractional distillation) முறையில் தனிமங்களைப் பிரித்தெடுக்கலாம். காட்டாக ரேடியத் தனிமத்தை மற்ற யுரேனியமூர்ந்த தனிமத் தொடரிலிருந்து (Trans-Uranium Series) பிரித்தெடுக்க, ரேடியத்தையொத்த வேதியியல் பண்புகொண்ட ஓரினத் தனிமமான பேரியம் (Barium) கொண்ட திரவக் கரைசலைப் பயன்படுத்தலாம். பேரியம் சல்பேட் திரவக் கரைசலை அணுக்கரு வினை தந்த பொருள்களோடு கரைத்தால், ரேடியமும், ரேடியம் சல்பேட் உப்பாகப் படிகிறது. இந்த உப்பு பேரியம் சல்பேட் உப்புடன் கலந்திருக்கும். பிறகு இந்த உப்புகளின் கரைசலை வடித்துப் படிகமாக்கும் முறையில் பேரியம் சல்பேட்டாகவும், ரேடியம் சல்பேட்டாகவும் பிரித்தெடுக்கலாம். இதுபோலவே, ஆக்டினியத்திற்குப் பிரித்தெடுக்கும் ஓரினத் தனிமமாக லாந்தனம் (Lanthanum) பயன்படுத்தப்படுகிறது.

11.3 அணுக்கருப் பிளப்புக் கண்டுபிடிப்பு

யுரேனியமூர்ந்த தனிமங்களின் ஆராய்ச்சியில் ஏவு நியூட்ரான்களால் தாக்கப்பட்ட யுரேனியத் தனிமம், தனித்தனி அரை வாழ்வுக் காலங்கள் கொண்ட பல β^-துகள்களை வெளி வீசியதைக் கண்டார்கள். எனவே, 'ஓரினத் தனிம ஊர்தி' முறைகளைப் பயன்படுத்தி, இந்தக் கதிரியக்கங்களுக்குக் காரணமான தனிமத்தைப் பிரித்தெடுக்கும் முயற்சியில் விஞ்ஞானிகள் ஈடுபட்டனர். பிரித்தெடுக்கப்பட்ட நான்கு கதிரியக்கத் தனிமங்கள், பேரியத் தனிமத்தை ஊர்தியாகக் கொண்டு பிரித்தெடுக்கப்பட்டதால், அவை ரேடிய-ஐசோடோப்புகளாகக் கருதப்பட்டன. அவற்றின் கதிரியக்கச் சேய்க்கருக்கள், லாந்தன ஊர்திகளால் பிரித்தெடுக்க முடிந்த காரணத்தால் அவை ஆக்டினியத் தனிம ஐசோடோப்புகளாகக் கருதப்பட்டன (தனிம அட்டவணையைப் பார்க்கவும்). ஆயினும், சில முரண்பாடுகள் இதில் தெளிவாகத் தென்பட்டன. முதலில், இவ்வகை அணுக்கரு வினையை



$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{88}\overset{*}{Ra}{}^{231} + {}_2He^4 + {}_2He^4 \qquad (11.1)$$

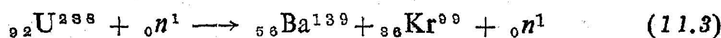


$$_{88}\overset{*}{Ra}{}^{231} \longrightarrow {}_{89}\overset{*}{Ac}{}^{231} \qquad (11.2)$$

என்றுதான் குறிப்பிடமுடியும். இதில் வினை (11.1) (n, 2α) வினையாகும். ஆற்றல் விதிகளின்படி, இந்த வினை நடைபெறுவது

கடினம், 'பேரியம் ஊர்தி' யிலிருந்து, அணுக்கரு வினையின் பயனாகத் தோற்றுவித்ததாகக் கொள்ளப்படும் ரேடியத்தை, எந்தவித வேதியியல் முறைகளாலும் தனித்துப் பிரிக்கமுடிய வில்லை. இதுபோலவே, தோற்றுவித்ததாகக் கொள்ளப்படும் ஆக்டினியத் தனிமத்தையும், லாந்தன ஊர்தியிலிருந்து எந்தவித வேதியியல் முறைகளாலும் தனித்துப் பிரிக்க முடிய வில்லை.

எனவே, *1939*ஆம் ஆண்டு ஹான் (Hahn) ஸ்ட்ராஸ்மான் (Strassman) என்ற ஜெர்மன் நாட்டு விஞ்ஞானிகள் இருவரும் தொடர்ந்து பல ஆய்வுகளை நடத்தி, புதியதொரு கருத்தை வெளியிட்டனர். நியூட்ரான்களால் தாக்கப்பட்ட யுரேனியத்தி லிருந்து கிடைத்த கலவையின் கதிரியக்கத் தனிமங்களில் ஒன்றின் அரை வாழ்வுக் காலம் 86 வினாடிகள் இருந்தது. $_{56}Ba^{139}$ என்ற தனிமமும் 86 வினாடிகள் அரை வாழ்வுக்காலம் கொண்ட, ஒரு கதிரியக்கத் தனிமம் என்று முன்பே கண்டுபிடிக்கப் பட்டிருந்தது. எனவே, தாக்கப்பட்ட யுரேனியம், பேரியமாகத் தகர்க்கப்பட்டு இருக்கலாம். அதாவது ஏவு நியூட்ரானைத் தன்வசப் படுத்திய யுரேனியம், சிறிய துகள்களை வீசி, நிலைப்பாடு அடையும் முறையைத் தவிர்த்து, இரு பெரிய துண்டுகளாகப் பிரிவுபடுகிறது என்று கொள்ளலாம் என்றார்கள் அவர்கள். எனவே, காணப் பட்ட நிகழ்ச்சியை



$$_{92}U^{238} + {_0}n^1 \longrightarrow {_{56}}Ba^{139} + {_{36}}Kr^{99} + {_0}n^1 \qquad (11.3)$$

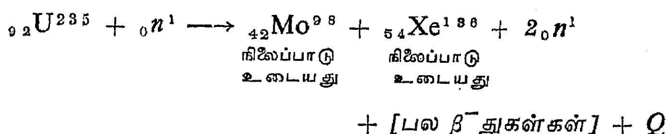
என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்ற கருத்தை வெளி யிட்டார்கள்.

1939-ல் இந்த முடிவுகள் வந்தவுடன், மற்ற ஆய்வுக் கூடங் களிலும் விஞ்ஞானிகள் இச் சோதனைகளைத் திரும்பவும் செய்து பார்த்து மெய்ப்பித்தார்கள். ஜெர்மனி அப்போது, ஹிட்லர் வசம் இருந்தது. ஃபெர்மியும் நீல்ஸ் போரும், அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டுக்கு வந்துவிட்ட நேரம் அது. ஜெர்மனியிலிருந்து வெளியேறி விட்ட மற்றொரு விஞ்ஞானி மெய்ட்னர் (Dr. Lise Meitner) ஜெர்மனியில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இந்த அணுக்கரு வினையைப் பற்றி, நீல்ஸ் போருக்குத் தந்திமூலம் செய்தி அனுப்பினார். ஃபெர்மியும் போரும், அப்பொழுது வாஷிங்டனில் நடந்து கொண்டிருந்த இயற்பியல் விஞ்ஞானிகள் மாநாட்டில், இந்த அணுக்கரு வினையினால் விளையக்கூடும் பயன்களைத் தொகுத்துக் கொடுத்தார்கள். உலகத்தையே அழிக்கக்கூடிய ஆற்றலை இந்தவித அணுக்கரு வினை கொடுக்கக்கூடிய வல்லமை பெற்றது

என்பதை இந்த இரு விஞ்ஞானிகளும் உணர்ந்தனர். நேசநாடுகளுக்கும் ஜெர்மனிக்கும் இரண்டாம் உலகப்போர் தொடங்கிய நேரமது. எனவே, இந்தப் பிரிவில் மேற்கொள்ளப்படும் ஆய்வுகளை ஓர் 'அரசு இரகசியமாக'க் (a State secret) காப்பது என்ற முடிவுக்கு வந்தனர். எனவே, பல ஆண்டுகள் சென்ற பிறகுதான், இந்த ஆய்வுகளைப்பற்றி ஏனைய நாட்டு விஞ்ஞானிகள் அறியமுடிந்தது.

11.4 அணுக்கருப் பிளப்பில் வெளியாகும் பேராற்றல்

(i) நிறை சமனிடு முறை: பின்கண்ட குறிப்பிட்ட ஓர் அணுக்கருப் பிளப்பு வினையை எடுத்துக்கொள்வோம்.



$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{42}Mo^{98} + {}_{54}Xe^{136} + 2\,{}_0n^1$$

$$+ \text{[பல } \beta^- \text{ துகள்கள்]} + Q$$

$_{92}U^{235}$-ன் நிறை $= 235.044$ a.m.u.

$_0n^1$-ன் நிறை $= 1.009$ a.m.u.

மொத்தம் 236.053 a.m.u.

$_{42}Mo^{98}$-ன் நிறை $= 97.905$ a.m.u.

$_{54}Xe^{136}$-ன் நிறை $= 135.917$ a.m.u.

$2\,{}_0n^1$-ன் நிறை $= 2.018$ a.m.u.

மொத்த நிறை $= 235.840$ a.m.u.

எனவே, Q-ன் மதிப்பு $(236.053 - 235.84)$ a.m.u.

$= 0.213$ a.m.u.

$= 207$ Mev

எனவே, இந்த அணுக்கருப் பிளப்பு வினையில் வெளிப்படும் ஆற்றல் சுமார் 200 Mev எனலாம்.

(ii) பிணைப்பு ஆற்றல் முறை: $_{92}U^{235}$-அணுக்கருவை ஒரு நியூட்ரான் தாக்கினால், $_{92}U^{236}$ என்ற கூட்டணுக்கரு தோன்றுகிறது. அணுக்கருக்களில் உள்ள கருத் துகள்களுக்கிடையே உள்ள பிணைப்பாற்றல் இந்த நிறைப் பகுதியில் ஒவ்வொரு கருத்

துகளுக்கும் 7.5 *Mev* ஆகும். எனவே, இந்தக் கூட்டு அணுக்கரு உருவாக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் அதன் பிணைப்பாற்றலான, 236×7.5 *Mev* ஆகும்.

இந்த அணுக்கரு ஏறத்தாழச் சம நிறையுடைய ($Z = 100, 136$) இரு அணுக்கருக்களாகப் பிளந்துபோவதாகக் கொள்வோம். படம் (7.2)-ன்படி இந்தப் பகுதியில் ஒவ்வொரு கருத் துகளும் 8.4 *Mev* பிணைப்பாற்றல் பெற்றிருக்கிறது. எனவே, இந்த அணுக் கருக்களை உருவாக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் அதன் பிணைப் பாற்றலான $(100+136) \times 8.4$ *Mev* ஆகும்.

ஆகவே, ஒரு ${}_{92}U^{236}$ கூட்டணுக்கரு, இரு சம நிறையுடைய அணுக்கருக்களாகப் பிளந்துபடும்போது வெளிப்படும் மொத்த ஆற்றல்,

$$Q = 236\,(8.4 - 7.5)\ Mev$$

$$Q = 201\ Mev \text{ ஆகும்.}$$

(iii) கூலும் விசை முறை: இரு அணுக்கருக்களாகப் பிரிந்த பிறகு, இரண்டு துண்டுகளும் நேர் மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதால், அவற்றிற்கிடையே ஒரு கூலும் எதிர்ப்பு விசை செயல்படும். பிளவினால் ஏற்பட்ட இரு அணுக்கருக்களின் அணு எண்கள் Z_1, Z_2 என்றும் அவற்றின் கரு ஆரங்கள் r_1, r_2 என்றும் கொள்வோம். பிளவு ஏற்பட்டவுடன் தோன்றக்கூடிய கூலும் ஆற்றல் (E),

$$E = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2}{4\pi\epsilon_0 (r_1 + r_2)} \qquad (11.4)$$

$e \longrightarrow$ புரோட்டானின் மின்னூட்டம்.

பிரிந்த தனிமங்களின் Z மற்றும் A முறையே பின்வருமாறு இருக்கட்டும்.

$$Z_1 = 52,\ A_1 = 140$$

$$Z_2 = 40,\ A_2 = 95$$

$$r_1 = bA_1^{\frac{1}{3}}\ .m = 1.1 \times 10^{-15} \cdot m \times A_1^{\frac{1}{3}}$$

இதுபோலவே $r_2 = 1.1 \times 10^{-15} \times A_2^{\frac{1}{3}}\ m.$

$$e = 1.6 \times 10^{-19}\ J$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^{9}\ \text{farad}^{-1}\ m.$$

$$\therefore\ E = \frac{52 \times 40 + (1.6 \times 10^{-19})^2}{\frac{1}{9 \times 10^9} \times 1.37 \times 10^{-15} \left[140^{\frac{1}{3}} + 95^{\frac{1}{3}}\right]}$$

$$= 3.63 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

$$1\ Mev = 1.6 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

$$\therefore\ E = 227\ Mev$$

எனவே, அணுக்கருப் பிளவு வினையில் ஏறத்தாழ 200 *Mev* ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது என்று தெரிகிறது. பிளவு வினை நீங்கலாக, அணுக்கரு வினையால் கிடைக்கப்பெற்ற ஆற்றலில் பெரும ஆற்றல், கீழ்க்கண்ட வினையால் கிடைக்கும் *Q*-ன் மதிப்பான 22 *Mev* தான்.

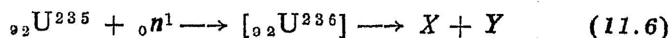


$${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^2 \longrightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4 + Q \qquad (11.5)$$

இதைக் கருத்தில் கொள்ளும்போது அணுக்கருப் பிளவால் கிடைக்கும் ஆற்றல் எத்துணைப் பெரியது என்பது விளங்கும்.

11.5 அணுக்கருப் பிளப்பினால் கிடைக்கும் அணுக்கருக்களின் நிறை-ஆற்றல் பங்கீடு

பின்வரும் அணுக்கருப் பிளப்பு வினையொன்றை எடுத்துக் கொள்வோம்.

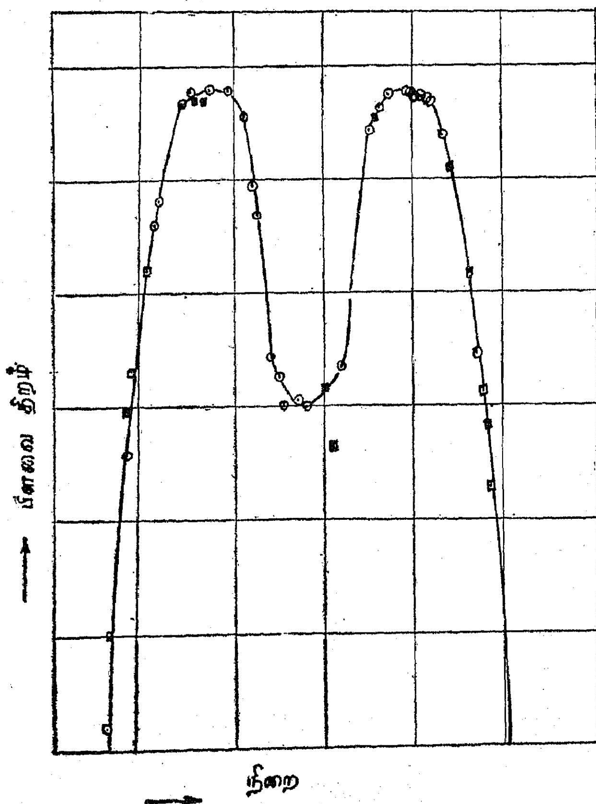


$${}_{92}\text{U}^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow [{}_{92}\text{U}^{236}] \longrightarrow X + Y \qquad (11.6)$$

X, *Y* இரண்டும், பிளவையால் ஏற்பட்ட அணுக்கருத் துண்டுகளாகும். ஓர் அணுக்கரு பிளவுபடும்போது, குறிப்பிட்ட தனிமங்களாக மட்டும் பிளவுபடுவதில்லை. ஒவ்வொரு முறையும் வெவ்வேறு நிறை, அணு எண் கொண்ட துண்டுகளாகப் பிரிகிறது. இந்த நிறைப் பங்கீட்டிற்கும் பிளவை அளவுக்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது ஏறத்தாழப் படம் (11.1)ஐ ஒத்திருக்கும். படம் (11.1) லிருந்து, ஒரே நிறை எண்ணுடைய இரு துண்டுகளாகப் பிரியும் சமச்சீர் பிளவு (symmetric fission) மிக அரிது எனத் தெரிகிறது.

ஒரு துண்டு, சிறிது நிறை கூடியதாகவும், மற்றொன்று சிறிது நிறை குறைந்ததாகவும் (எடுத்துக்காட்டு, ${}_{42}\text{Mo}^{98}$, ${}_{54}\text{Kr}^{136}$) பிளவுபடுகின்ற வினையின் நிகழ்திறன்தான் அதிகம் என்றும் தெரிகிறது.

பிளவுபட்ட துண்டுகளின் நிறை விகிதத்தைக் காணல் எளிது. பிளவுபட்டவுடன் அவற்றின் பின்னேக்குத் திசைவேகம் முறையே



படம் 11.1

பிளவையுற்ற துண்டுகளின் நிறையும் அணுக்கருவின் பிளவைத் திறமும்

v_1, v_2 என்றும், அவற்றின் ஆற்றல் முறையே M_1, M_2 என்றும் கொள்வோம். உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைப்படி,

$$M_1v_1 = M_2v_2 \tag{11.7}$$

$$\therefore \quad \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{M_2^2}{M_1^2} \tag{11.8}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{1}{2}M_1v_1^2}{\frac{1}{2}M_2v_2^2} = \frac{M_2}{M_1} \tag{11.9}$$

(வெளிப்படும் ஆற்றல் மிக்க நியூட்ரான்களை இதில் கணக்கில் கொள்ளவில்லை.)

எனவே, இரு துண்டுகளின் ஆற்றல் விகிதம், அவற்றின் நிறை விகிதத்தைக் கொடுக்கும். ஆற்றல் விகிதத்தை, அயனிக்கலம் கொண்டு காண இயலும். எனவே, நிறை விகிதம் காணல் எளிது.

11.6 அணுக்கருப் பிளப்பில் வீசப்படும் நியூட்ரான்கள்

அணுக்கருப் பிளவு நிகழும்போது, நியூட்ரான்களும் வெளி வீசப்படுகின்றன என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது மிகவும் பயனுள்ள கண்டுபிடிப்பாகும். முதலில் ஒரு குறிப்பிட்ட கலத்தினுள் நாற்புறமும் நியூட்ரான் உணர்கருவிகளைப் பொருத்துவோம். முதலில் அந்தக் கலத்தின் மையத்தில் ஒரு நியூட்ரான் மூலத்தை வைத்து, ஒரு நிமிடத்தில் கிடைக்கின்ற நியூட்ரான்களைக் கணக்கிடுவோம். பின்பு ஒரு யுரேனியத் தனிமத்தை நியூட்ரான் மூலத்திற்கருகே வைப்போம். இப்பொழுது கிடைக்கும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, முன்பிருந்ததைவிட அதிகமாக இருப்பதைக் காணலாம். ஓர் அணுக்கருப் பிளவையின்போது வெளி வீசப்படும் நியூட்ரானின் சராசரி எண்ணிக்கை (ν), 1·5 முதல் 2 வரை இருக்கும் எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. சில பிளவை வினைகள் ஒரு நியூட்ரானை வெளிவீசும். சில பிளவை வினையின் போது இரு நியூட்ரான்கள் வெளிப்படும். எனவே, சராசரி ஒரு பின்னமாக இருப்பது தெளிவு. வெளிப்படும் ஒவ்வொரு நியூட்ரானும் ஓர் அணுக்கருப் பிளவையைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. சில நியூட்ரான்கள், யுரேனியத் தனிமத்தால் உட்கவரப்பட்டு (n, ν) வினையைத் தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே, உட்கவர் வாய்ப்பு σ_a

$$\sigma_a = \sigma_\nu + \sigma_f \qquad (11.10)$$

$\sigma_\nu \longrightarrow$ (n, ν) வினை வாய்ப்பு.

$\sigma_f \longrightarrow$ பிளவை வினை வாய்ப்பு.

எனவே, அணுக்கருப் பிளவை உண்டாக்கும் நியூட்ரானுக்கும் உட்கவரப்பட்ட ஒவ்வொரு நியூட்ரானுக்கும் உள்ள விகிதம் (η)

$$\eta = \frac{\sigma_f}{\sigma_a} = \frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_\nu} = \frac{1}{1+\alpha} \qquad (11.11)$$

இதில், $\alpha = \dfrac{\sigma_\nu}{\sigma_f}$

அணுக்கருப் பிளவை வினையில் வெளிவீசப்படும் நியூட்ரான்கள் இருவகைப்படுகின்றன.

(i) உடன் வீசு நியூட்ரான்கள், (ii) தாமதித்து வரும் நியூட்ரான்கள். அணுக்கருப்பிளவை வினையில் 99·3% நியூட்ரான்கள் உடன்வீசு நியூட்ரான்களே. கூட்டு அணுக்கரு இரு துண்டுகளாகப் பிரியும்போது, தேவைக்கதிகமான நியூட்ரான்களும், அதை வெளியேற்றத் தேவையான ஆற்றலும் கிடைப்பதால் உடன்வீசு நியூட்ரான்கள் தோன்றுகின்றன. தாமதித்து வரும் நியூட்ரான்கள், மொத்த நியூட்ரான்களில் 0·13% தான் என்றாலும் இவை மிகமிகப் பயன் தரத்தக்கவையாக இருக்கின்றன. தாமதித்து வீசப்படும் நியூட்ரான்கள், பிளவைத் துண்டுகளின் அணுக்கருக்கள் கிளர்ச்சி பெற்ற ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து தன் புவி நிலையை அடையும்போது வெளிப்படும் நியூட்ரான்களே. இந்த நியூட்ரான்களை வெளிவீசும் பிளவைத் துண்டுத் தனிமம் β^- கதிரியக்க அரை ஆயுட்காலத்தை ஏறத்தாழப் பெற்றிருக்கிறது.

11.7 அணுக்கருப் பிளவைக்குக் கொள்கைசார் விளக்கம் (Theory of Nuclear Fission)

நீல்ஸ் போரின் திரவத் திவலைப் படிவக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அணுக்கருப் பிளப்பு நிகழ்ச்சிக்கு விளக்கம் கூற இயலும். ஓர் அணுக்கரு, அக் கருவுக்குள் உள்ள துகள்களினிடையே உள்ள நெருக்கமான பிணைப்பு, குற்றெல்லை விசைகள், கருவின் மாறாச் செறிவு இவற்றைக் கருத்தில் கொண்டு பல வகைகளில் அது ஒரு திரவத்துளியை ஒத்திருக்கிறது என்று முன்பே பார்த்தோம். ஒரு திரவத்துளியை எடுத்துக் கொண்டால், அதிலடங்கியுள்ள மூலக்கூறுகளிடையே அவற்றின் பிணைப்பைச் சிதைவுறச் செய்யும் விசைகளை எதிர்த்து ஈடு செய்யும் விசை பரப்பு விசையாகும். எனவே, திரவத்துளி சிறியதாக இருக்கும்போது, மேற்பரப்பு சிறுமமாக இருக்கின்ற வடிவியல் அமைப்பான கோள வடிவை, திரவத்துளி பெறும். அதாவது, புறவிசைகளுக்குட்படாத எந்த ஒரு திரவத்துளியும் பரப்பு விசையினால் கோள வடிவு பெறுகிறது. திரவத்துளி பெரியதாக இருந்தால், மூலக்கூறுகள் வெப்பவியல் அலைவுகளாலும் (thermal oscillations) புவி ஈர்ப்பு விசையாலும் தாக்கப்பட்டுப் பரப்பு விசைக்கு எதிராகச் செயல்படுகின்றன. எனவே, உருக்குலைந்து கோள வடிவிலிருந்து மாறுபட்ட, உருளை மற்றும் தட்டை வடிவங்களையடையும். எனவே, மேற்பரப்பு அதிகமாகிப் பரப்பு விசை வலிமையிழந்து திரவத்துளி நிலையற்றதாகிறது. இந்த நிலையில் புறத்திலிருந்து மிகச்சிறிய அளவில் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்டாலும், ஒரு பரப்பு விசை அலைவுகளைத் (surface tension

oscillations) தோற்றுவித்துச் சமநிலையின் பெரும எல்லையைக் கடந்து துளி, இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட சிறு திவலையாகப் பிளவு படுகிறது.

இதுபோல அணுக்கருவினுள் உள்ள புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் தமக்கிடையேயுள்ள குற்றெல்லை விசையால் கட்டுண்டு ஒரு பரப்பு விசையைப் போலச் செயல்படுகின்றன என்றும், புரோட்டான்களுக்கு இடையேயுள்ள கூலும் எதிர்ப்பு விசைகள் கருவின் நிலைத் தன்மையைக் குறைக்கும் தன்மை படைத்தனவாகவும் இருப்பதாகக் கண்டோம். இரு அணுக் கருக்கள் ஒன்றை ஒன்று நெருங்கும்போது, இரு திரவத் திவலைகள் இணைவதுபோல இணையும். இணைந்த இந்த அணுக்கருவில், பரப்பு விசை மேலோங்கி நின்றால் இந்த இணைப்பால் நிகழ்ந்த கிளர்ச்சி யினால் கரு சிதைவுறுது. மாறாக, எதிர்ப்பு விசைகள் மேலோங்கி நின்றால் அணுக்கரு சிறிய கிளர்ச்சியூட்டப்படினும் கருப்பிளவை ஏற்படுகிறது. பிளவை ஏற்படும் முறையைப் படம் (11.2) விளக்குகிறது.



படம் 11.2

அணுக்கருப் பிளவை ஏற்படும் முறை: திரவத் திவலை அலைவுடன் ஒப்பிடுதல்

கருப்பிளவை ஏற்படுவதற்கான சூழ்நிலைகளைத் திரவத்துளி படிவக் கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொண்டு நீல்ஸ் போரும் வீலரும் கணக்கிட்டார்கள். அணுக்கரு கிளர்ச்சியடையும்போது அது இரு விசைகளின் செயற்பாட்டால், ஒரு பரப்பு விசை அலைவு களுக்குள்ளாகிறது. எனவே, அணுக்கரு உருக்குலைகிறது. கருவின் பரப்பு ஆற்றல் E_s ஆகவும் செயல்படும் கூலும் ஆற்றல் E_c ஆகவும் கொண்டால் இந்த உருக்குலைவு ஆற்றல் (ν) (energy of distortion) ($2E_s - E_c$)-ன் மதிப்புக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் எனக் கணக்கிட்டார்கள்.

$$\nu = k \cdot (2E_s - E_c) \qquad (11.12)$$

k – மாறிலி

$2E_s > E_c$ ஆக இருந்தால், சிறிய உருக்குலைவு அலைவுகளால் அணுக்கரு பிளவுறுது. மாறாக $2E_s < E_c$ ஆக அமைந்தால், சிறிய

அலைவுகளும், மேலும் மேலும் பெரிதாகிப் பிளவுக்கு அடிகோலும். எனவே, அணுக்கருப் பிளவையின் வரம்பு மதிப்பு (limiting value)

$$\left(\frac{E_s}{E_c}\right)_l = Z\,2 \qquad (11.13)$$

ஆகும்.

E_s-ன் மதிப்பையும், E_c-ன் மதிப்பிற்கும் Z, A இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பால் குறிப்பிட்டால்,

$$\left(\frac{Z^2}{A}\right)_l = 47.8 \qquad (11.14)$$

குறிப்பிட்ட அணுக்கரு, பிளவையுறும் வரம்பு மதிப்பிலிருந்து எத்துணை அருகில் இருக்கிறது என்பதை

$$x = \frac{\dfrac{Z^2}{A}}{\left(\dfrac{Z^2}{A}\right)_l} = \frac{\dfrac{Z^2}{A}}{47.8} \qquad (11.15)$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து அறியலாம்.

$x < 1$ என்றால், அணுக்கரு பிளவையுறாமல் நிலைப்பாடுடையதாக இருக்கும். $x > 1$ என்றால், அணுக்கரு பிளவையுறும். காட்டாக, $_{92}U^{236}$-தனிமத்திற்கு,

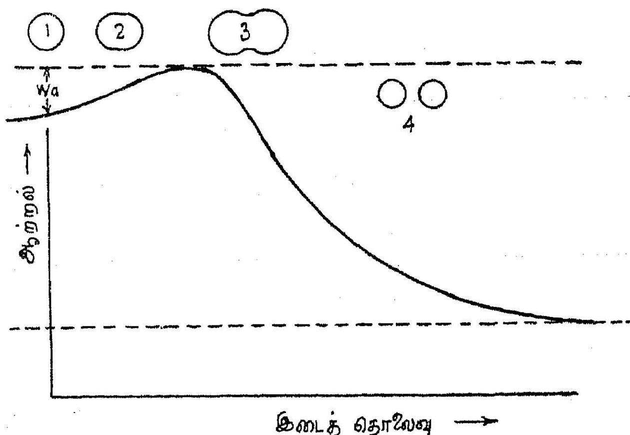
$$x = \frac{(92)^2 / 236}{47 \cdot 8} = 0 \cdot 75 \qquad (11 \cdot 16)$$

$x = 1$ என்றிருக்கக்கூடிய தனிமங்கள் இயற்கையில் நிலைத்திருப்பதில்லை. ஆயினும், $x < 1$ என்றிருக்கக்கூடிய தனிமங்களும் கிளர்ச்சியினால் வலிமை மிகுந்த உருக்குலைவு அலைவுகள் தோற்றுவிக்கப்படும்போது, பிளவுறுவதற்கு வாய்ப்பு உண்டு. கொடுக்கப்பட்ட தனிமத்திற்கான இவ்வாறு பிளவையுறுவதற்கான ஆற்றல் 'செயலூக்க ஆற்றல்' (Activation Energy) W_a எனப்படும்.

ஒரு நியூட்ரான் ஓர் இலக்கு அணுக்கருவை 'T' இயக்க ஆற்றலோடு தாக்கினால், கூட்டு அணுக்கருவின் கிளர்ச்சி ஆற்றல் $\overset{*}{W}$

$$\overset{*}{W} = \overset{*}{B}_n + T \text{ ஆகும்,} \qquad (11 \cdot 17)$$

இதில் $\overset{*}{B}_n$ என்பது, இந்த நியூட்ரானின் கூட்டு அணுக்கருவில் 'கட்டுண்ட பிணைப்பு ஆற்றல்' ஆகும். எனவே, ஒரு கூட்டு அணுக்கரு பிளவையுற வேண்டுமென்றால் அதன் கிளர்ச்சி ஆற்றல் ($\overset{*}{W}$) செயலூக்க ஆற்றலை (W_a)விட அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும் (படம் 11·3).



படம் 11.3

பிளவையுறும் அணுக்கருவின் கிளர்ச்சி மட்டம்-செயலூக்க ஆற்றல் தொடர்பு விளக்கம்

$$\overset{*}{W} > W_a \qquad (11\cdot 18)$$

$$\overset{*}{B}_n + T > W_a \qquad (11\cdot 19)$$

$$\therefore T > W_a - B_n \qquad (11\cdot 20)$$

எனவே, பயன் தொடக்க இயக்க ஆற்றல்.

$$T_{Thrs} = W_a - \overset{*}{B}_n$$

இப்பொழுது $W_a < \overset{*}{B}_n$ ஆக இருந்தால் சுழி இயக்க ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்கள்கூடக் கருப்பிளவைத் தோற்றுவிக்கும். மாறாக, $W_a > \overset{*}{B}_n$ ஆக இருந்தால் கருப்பிளவை தோன்ற, ஏவு நியூட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் பயன் தொடக்க ஆற்றல் $T_{Threshold}$-ஐவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும்.

இதைக் கருத்தில்கொண்டு இயக்க ஆற்றல் அதிகமுள்ள வேக நியூட்ரான்கள் எப்பொழுதுமே, அணுக்கருப் பிளவைத் தோற்று

விக்கும் எனக் கொள்ளுதல் கூடாது. கனமான தனிமங்கள் வேக நியூட்ரான்களை வசப்படுத்தும் வாய்ப்புக் குறைவு. எனவே, மிக அதிக இயக்க ஆற்றல் பெற்ற நியூட்ரான்களைவிட, மந்த நியூட்ரான்களே அணுக்கருக்குள் வசப்பட்டு, அணுப்பிளவை ஏற்படுத்தும் வாய்ப்பை அதிகம் பெற்றிருக்கின்றன.

அட்டவணை 11.1

வெவ்வேறு கன அணுக்கருக்களின் கிளர்ச்சி, செயலூக்க ஆற்றல் விவரம்.

அணுக்கரு	ஒரு நியூட்ரானுல் தோற்றுவிக்கப்படும் கூட்டணுக்கருவின் கிளர்ச்சி ஆற்றல் $\overset{*}{W}$ (*Mev*)	பிளவைக்கான செயலூக்க ஆற்றல் (*Mev*) W_a
$_{92}U^{233}$	6·6	4·6
$_{92}U^{235}$	6·6	5·5
$_{92}U^{238}$	5·9	6·5
$_{94}Pu^{239}$	6·4	4·0

எனவே, $_{92}U^{235}$, $_{94}Pu^{239}$ போன்ற கருக்கள் மந்த நியூட்ரான்களாலும், $_{92}U^{238}$ அணுக்கரு, வேக நியூட்ரான்களாலும் பிளவையுறும் வாய்ப்புகள் பெற்றவை எனத் தெரிகிறது.

பயிற்சி (1): 1 கிராம் $_{92}U^{235}$-பிளவையுறும்போது வெளிவீசும் ஆற்றலைக் கிலோவாட் மணிகளில் காண்க (ஒரு பிளவைக்கான ஆற்றல் 200 *Mev* எனக் கொள்க).

விடை: 235 கிராம் $_{92}U^{235}$-ல் $6{\cdot}02 \times 10^{23}$ அணுக்கள் இருக்கும். எனவே, 1 கிராமில் உள்ள யுரேனிய அணுக்கள்

$$= \frac{6{\cdot}02 \times 10^{23}}{235} \text{ அணுக்கள்}$$

எனவே, பிளவுறும் ஒவ்வோர் அணுவும், 200 *Mev* ஆற்றலைக் கொடுத்தால், இந்தக் கிராம் நிறையிலுள்ள அணுக்கள் கொடுக்கும் மொத்த ஆற்றல் E

$$E = \frac{6{\cdot}02 \times 10^{23}}{235} \times 200 \; Mev$$

$$1\ Mev = 4{\cdot}45 \times 10^{-20}\ \text{kwh}$$

$$\therefore E = \frac{200 \times 6{\cdot}02 \times 10^{23}}{235} \times 4{\cdot}45 \times 20^{-20}$$

$$= 2{\cdot}28 \times 10^{4}\ \text{kwh}$$

(2) 100 டன் கரியை எரிப்பதால் உண்டாகும் ஆற்றலுக்கு ஈடான ஆற்றல் பெற, எவ்வளவு கிராம் யுரேனியத்தைப் பிளவை முறையில் சிதைவுறச் செய்யவேண்டும்? (1 டன் கரி கொடுக்கும் ஆற்றல் $= 32 \times 10^{9}$ J; 1 அணுக்கருப் பிளவை கொடுக்கும் ஆற்றல் = 200 *Mev*.)

விடை : 100 டன் கரி எரிதலால் கிடைக்கும் ஆற்றல் $= 32 \times 10^{11}$ J

$$1\ \text{J} = 6{\cdot}24 \times 10^{12}\ Mev$$

∴ 100 டன் கரி எரிதலால் கிடைக்கும் ஆற்றல் $= 32 \times 6{\cdot}24 \times 10^{23}\ Mev$

1 பிளவையால் தோன்றும் ஆற்றல் = 200 *Mev*

∴ தேவையான பிளவைகள்

எண்ணிக்கை, $= \dfrac{32 \times 6{\cdot}24}{200} \times 10^{23}$

$$= 10^{23}$$

$6{\cdot}023 \times 10^{23}$, $({}_{92}U^{235})$ அணுக்களின் நிறை 235 கிராம்.

∴ 10^{23} அணுக்களின் எடை

$$= \frac{235}{6{\cdot}023 \times 10^{23}} \times 10^{23}$$

$= 39{\cdot}2$ கிராம்.

100 டன் கரி எரிப்பதால் கிடைக்கும் ஆற்றல் 39·2 கிராம் யுரேனியம் முழுவதும் பிளவுறுதலால் கிடைக்கும்.

வினக்கள்

1. அணுக்கருப் பிளவை என்ருல் என்ன? ஓர் அணுக்கருப் பிளவினுல் தோன்றும் ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

2. அணுக்கருப் பிளவிற்குக் கொள்கைசார் விளக்கம் கூறவும். (நீல்ஸ் போர்-வீலர் கொள்கை, எவ்வாறு அணுப் பிளவை விளைவை விளக்குகிறது என்பதைக் கூறவும்.)

3. வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள் $_{92}U^{235}$ அணுக்கருவில் பிளவையைத் தோற்றுவிக்கின்றன. ஆனுல், $_{92}U^{238}$-ல் தோற்றுவிப்பதில்லை. காரணம் கூறுக.

   $_{92}U^{235}$ அணுக்கரு, ஒரு வெப்பவியல் நியூட்ரானை வசப்படுத்திப் பிளவை ஏற்பட்டு, $_{56}Ba^{144}$; $_{36}Kr^{90}$ மற்றும் இரு நியூட்ரான்களாகத் துண்டுபடும் என்ருல், பிளவை ஆற்றலைக் காண்.

4. ஓர் அணுக்கருப் பிளவையின்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் *200 Mev* என்ருல், 1 வாட் திறன் ஏற்படத் தேவையான பிளவுகளின் எண்ணிக்கையைக் காண்க.

12. அணுக்கரு வினை ஆற்றலைப் பயன்படுத்துதல்

12.1 முன்னுரை

ஐன்ஸ்டீனின் புகழ்பெற்ற கொள்கையான நிறை-ஆற்றல் தொடர்பு கொள்கைதான் அணுக்கரு வினையை, ஆற்றல் தரும் மூலமாகப் பயன்படுத்தும் ஆராய்ச்சியின் அடித்தளம் எனலாம். ஒரு பொருளின் நிறையை அழிப்பதன்மூலம் ஆற்றலைப் பெறலாம் என்ற கருத்தை ரூதர்ஃபோர்டு, ஜீன்ஸ் (Jeans), எடிங்டன் (Eddington) போன்ற முதுபெரும் ஆராய்ச்சியாளர்கள் கொண்டிருந்தபோதிலும், அணுக்கரு வினை ஆக்கத்தை ஐன்ஸ்டீனின் நிறை-ஆற்றல் தொடர்பு கொள்கையைச் சார்ந்து விளங்கிக்கொண்ட பிறகுதான், ஆற்றலைப் பெறக்கூடிய நுழைவாயிலுக்கு ஒரு திறவுகோல் கிடைத்தது என அறுதியிட்டுக் கூறலாம்.

12.2 அணுக்கருப் பிளவையின் தொடர்வினை (Chain Reaction of Fission)

0.03 *ev* இயக்க ஆற்றலுடைய வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் 200 *Mev* ஆற்றலை வெளிவீசக்கூடிய அணுப் பிளவையைத் தோற்றுவிக்க முடியும் என்று கண்டோம். அணுப் பிளவையின் சிறப்பு இதனால்மட்டுமன்று; ஒவ்வோர் அணுப் பிளவையின் போதும், மேலும் சில நியூட்ரான்கள் வெளிவீசப்பட்டு அவை மேலும் அணுப் பிளவையைத் தோற்றுவிக்கக்கூடிய பண்பைப் பெற்றிருப்பதுதான். காட்டாக, ஒரு வெப்பவியல் நியூட்ரான் ஒரு யுரேனியத் தனிமத்தில் அணுப் பிளவையை ஏற்படுத்தி, இரு நியூட்ரான்களைக் கொடுக்குமானால், இந்த இரு நியூட்ரான்களும், யுரேனியத்துடன் மேலும் செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு, இரு

பிளவைகளை உண்டாக்கி, இரண்டிரண்டு நியூட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கும் என்று கொள்வோம். எனவே, நியூட்ரான்கள் 1, 2, 4, 8, 16, 32...... என்ற வீதத்தில் பெருகி வெகு விரைவில் தன் 80ஆவது தலைமுறையில் 10^{24} நியூட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கும். இவை யாவும் தோற்றுவிக்கும் அணுப் பிளவையின் மொத்த ஆற்றல் வெளியீடு ·01 விநாடிக்குள் 5 மில்லியன் kwh ஆகும். அத்தனையும், ஒரே ஒரு வெப்பவியல் நியூட்ரானால் தொடங்கப் பட்டதே ! இவ்வாறு தொடர்வினை தோற்றுவித்தல் இயலுமா ? இந்தத் தொடர்வினை ஒரு மாபெரும் அழிவுச் சக்தியைத் தோற்று விக்காதா ? இதைக் கட்டுப்படுத்த முடியுமா ? கட்டுப்படுத்தத் தேவையான சூழ்நிலைகள் என்னென்ன? என்ற பல கேள்விகள் எழுகின்றன. இவற்றிற்கு விடைகாணும் முயற்சியில் பல நாட்டு விஞ்ஞானிகளும் 1940ஆம் ஆண்டு முதல் ஈடுபட்டனர்.

இயற்கையில் கிடைக்கும் யுரேனியத் தனிமத்தில் U^{235}, U^{238} என்ற இரு யுரேனிய ஐசோடோப்புகளும் கலந்திருக்கின்றன. இதில் U^{235}, வெப்பவியல் நியூட்ரான்களாலேயே கருப் பிளவை யுறும் தன்மை பெற்றது என்றும், U^{238} கரு, தேவைப்பட்ட இயக்க ஆற்றல் பெற்ற வேக நியூட்ரான்களால் கருப் பிளவையுறும் தன்மை பெற்றது என்றும், அட்டவணை (11.1) யிலிருந்து அறி கிறோம். இயற்கையாகக் கிடைக்கும் தனிமத்தில் U^{235}-ன் அளவு மிகக் குறைவேயாதலால், பிளவைத் தொடர்வினையை ஏற்படுத்த U^{235}-ஆல் வளம் ஊட்டப்பெற்ற யுரேனியத்தையே (enriched uranium) பயன்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது.

தொடக்கத்தில், n_0 வேக நியூட்ரான்கள் இருக்கின்றன என்று கொள்வோம். அவை யுரேனியத் தனிமத்தைத் தாக்கும்போது, அவற்றில் சில U^{238}, அணுக்கருவால் உட்கவரப்பட்டுப் பிளவை யைத் தோற்றுவிக்கின்றன. வேக நியூட்ரான்களால் தூண்டப் படும் இந்த அணுக் கருப் பிளவைக் கூற்றெண் (fission factor) 'E' என்றால், இப்பொழுது கிடைக்கும் மொத்த நியூட்ரான்கள்,

$$= n_0 E \qquad (12.1)$$

சில நியூட்ரான்கள் U^{238}-ல் ஒத்திசைவுக் கிளர்ச்சியால் உட்கவரப்பட்டுப் பிளவை ஏற்படுத்தாமல்போய்விடுவதும் உண்டு. இவ்வாறு ஏற்படாமல் தப்பிச் செல்லும் நியூட்ரான்கள் மட்டுமே, மேலும் பிளவையைத் தோற்றுவிக்க முடியும். இவ்வாறு தப்பிச் செல்லும் - நியூட்ரான்களின் கூற்றெண் p என்றால், மொத்தம் கிடைக்கும் நியூட்ரான்கள் $= n_0 Ep$ (12.2)

இந்த நியூட்ரான்கள் தன் இயக்க ஆற்றலை இழந்து, வெப்ப வியல் நியூட்ரான்களாகி, U^{235} தனிமத்தால் உட்கவரப்படு கின்றன என்று கொள்வோம். இந்த நியூட்ரான்கள் யாவும்

பிளவையைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. பிளவையைத் தோற்றுவிக்கும் திறன் 'f' என்றால். U^{235}ஆல் உட்கவரப்பட்ட வெப்பவியல் நியூட்ரான்களில், பிளவையைத் தோற்றுவிக்கும் நியூட்ரான்கள்

$$= n_0 \; Epf \text{ ஆகும்.} \tag{12.3}$$

அதில் பிளவையினால் தோன்றும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கூற்றெண் 'η' என்றால்

$$\left[\eta = \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_r + \sigma_f}\right) . \nu \text{ ....பகுதி 11-ஐப் பார்க்கவும்.} \right]$$

பிளவையினால் கிடைக்கும் மொத்த நியூட்ரான்கள்

$$n_0 \; Epf \; \eta \tag{12.4}$$

எனவே, முதலில் எடுத்துக்கொண்ட நியூட்ரான்கள் $= n_0$

கிடைக்கும் மொத்த நியூட்ரான்கள் $= n_0 \; Epf \; \eta$

எனவே, நியூட்ரான் பெருக்க எண் $(K) = \dfrac{n - Epf \; \eta}{n_0}$

$$K = Epf \; \eta \tag{12.5}$$

எனவே, K என்பது ஒரு தொடர் பிளவை வினையில் ஏற்படும் நியூட்ரான் பெருக்க எண் (neutron multiplication factor) ஆகும்.

(i) $K > 1$ என்றால், பிளவைத் தொடரில், ஒவ்வொரு தலைமுறையிலும் கிடைக்கும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, அதற்கு முன் தலைமுறையில் கிடைத்த நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை விட அதிகமாகும். இதுபோன்ற அமைப்பு மீமாறுநிலை அமைப்பு (Super Critical Assembly) என்று பெயர் பெறும். இந்த அமைப்பு தானே வலுவூட்டிக்கொண்டு ஒரு பிளவைத் தொடர் இயக்கத்தைத் தோற்றுவித்து, மேலும் மேலும் தொடரும். $K \gg 1$ என்ற அமைப்புதான், அணுகுண்டு என்ற கட்டுப்படுத்தாத அணுக்கருப் பிளவைச் சாதனம் (uncontrolled nuclear fission) ஆகும்.

(ii) $K = 1$. இந்த நிலையில், முதல் தலைமுறையில் உள்ள நியூட்ரான்களும், பிளவை வினையில், அடுத்த தலைமுறையில் உற்பத்தியாகும் நியூட்ரான்களும் ஒரே எண்ணிக்கை கொண்டவை. இந்த அமைப்பு 'மாறுநிலை அமைப்பு' (Critical Assembly) எனப்படும். இந்த அமைப்பைக் கட்டுப்படுத்திப் பயன்படுத்தினால்,

தேவைக்கேற்ப ஆற்றலைப் பெறலாம். அணுசக்தியால் மின்சாரம் போன்ற நன்மைதரும் வழிகள் இந்த அமைப்பு முறையில்தான் செயல்படுகின்றன.

(iii) $K<1$. இந்த அமைப்பில். முதல் தலைமுறை நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைவிட அடுத்த தலைமுறை நியூட்ரான்களின் எண்ணிகை குறைந்து காணப்படும். எனவே, இந்தத் தொடர் விரைவில் அறுபட்டு நின்றுவிடும், இந்த அமைப்பு 'மாறு நிலைக்குக் கீழ் அமைந்த அமைப்பு' (Sub-critical Assembly) எனப்படும்.

12.3 தணிப்பான்கள் (Moderators)

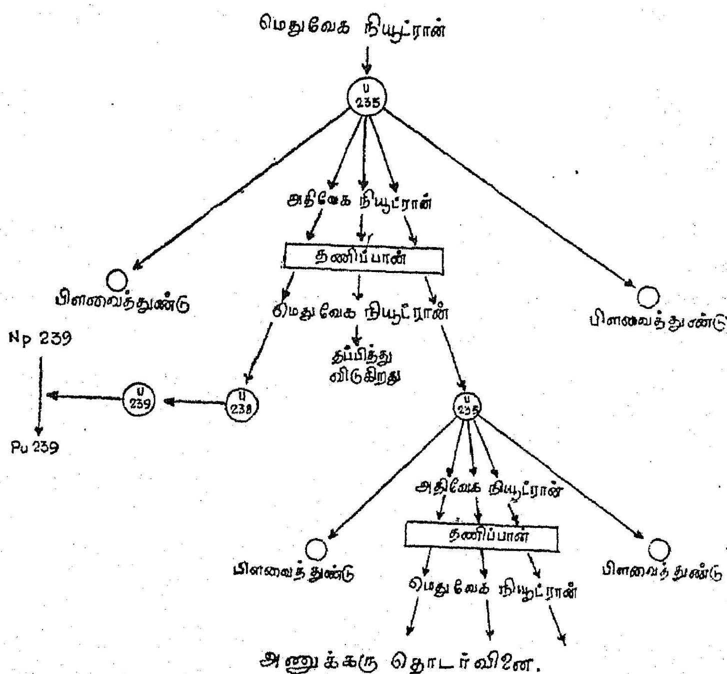
அணுக்கருப் பிளவைத் தொடர்வினை நடைபெறுவதற்கான இடையூறுகளில் மிக முதன்மையானவை இரண்டு. (i) நியூட்ரான்கள், பிளவையுறும் தனிமத்திலிருந்து கசிவுற்று வெளியேறல். (2) பிளவையை ஏற்படுத்தாமல் நியூட்ரான்களை உட்கவரக் கூடிய தனிமங்கள், அமைப்பில் இருத்தல்.

முதல் வகை இடர்ப்பாட்டைக் குறைக்கப் பிளவையுறும் தனிமத்தின் வடிவியல் அமைப்பையும் அதன் அளவையும் தக்கபடி அமைப்பது முறை. நியூட்ரான்கள் தனிமத்தினுள் மோதலுற்றுப் பிறகு வெளியேறு வண்ணம், தனிமத்தில் பருமனை அதிகரித்துத் தப்பியோட வழி செய்யும் மேற்பரப்பைக் குறைத்தல் வேண்டும். அதாவது, பிளவையுறும் தனிமம் கோள வடிவமாக இருத்தல் நலம். மேலும் பிளவுறும் தனிமம் ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலைப் பருமனுக்குக்கீழ் (critical size) இருக்கும்போது, தொடர்வினை நிலைப்பதில்லை எனவும், அந்த மாறுநிலைப் பருமனுக்கதிகமாக இருந்தால், தொடர்வினை வலுவுறும் என்றும் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது. எனவே, பிளவுறும் தனிமத்தை மாறுநிலைப் பருமனுக்குச் சற்றே அதிகமாக எடுத்துக்கொண்டு, அதை இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட பிரிவுகளாக்கி வைத்துக்கொண்டு, தேவைப்படும்போது இணைத்துக்கொள்வது முறை.

இரண்டாவது இடர்ப்பாட்டைத் தவிர்க்க இரு முறைகள் செயல்படுத்தலாம். (௧) வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் பிளவுறும் தனிமத்தின் அளவைமட்டும் அதிகரிப்பது. காட்டாக, இயற்கையில் கிடைக்கும் யுரேனியத்தில்: U^{235} : U^{238}, 1: 140 என்ற அளவில் தான் கிடைக்கிறது. U^{235} தனிமம்தான் வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் பிளவுறும். எனவே, யுரேனியப் பிளவைப் பொருளில் U^{235}-ன் அளவை அதிகப்படுத்தலாம். இதற்கு 'வளமூட்டமுற்ற

யுரேனியம்' (enriched uranium) என்று பெயர். ஆயினும், இவ்வாறு U^{235} ஐசோடோப்பைப் பிரித்தெடுப்பது சிக்கலானதும், பொருட் செலவு மிக்க, கடினமானதுமான முறையாகும்.

மற்றோர் எளிமையான முறையை, ஃபெர்மி முதன்முதலாக எடுத்துக்கூறினார். இந்த முறை, தணிப்பான்கள் என்றழைக்கப் படும் நியூட்ரானின் வேகத்தைக் குறைக்கக்கூடிய பொருள்களைக் கொண்டு இயற்கை யுரேனியத்தில் அதனுடன் இருக்கும் ${}_{92}U^{238}$ இருந்தபோதிலும் ஒரு தொடர்வினை இயக்கத்தை வலிந்து செயற் படுத்துவதாகும். அணுக்கருப் பிளவையால் வெளிவீசப்படும் விரைவு நியூட்ரான்களின் ஆற்றலை மீண்டெழு மோதல்களால் மிக விரைவில் வெப்பவியல் ஆற்றல் மட்டத்திற்குக் குறைப்பதே இந்தத் தணிப்பான்களின் தலையாய பணியாகும். வெப்பவியல் நியூட்ரான்களை உட்கவரும் வாய்ப்பு, ${}_{92}U^{238}$ ஐசோடோப்புகளுக்கு மிகக் குறைவானதால் அந்த நியூட்ரான்கள் ${}_{92}U^{235}$-ஐ மேலும் தாக்கிப் பிளவை வினையைத் தோற்றுவிக்கும் நிகழ்திறன் அதி கரிக்கிறது. படம் (12·1) இந்தச் செயற்பாட்டை விளக்குகிறது.



படம் 12.1
அணுக்கருப் பிளவைத் தொடர்வினையும் தணிப்பான்களின் செயற்பாடும்

நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைக்கச் சிறந்த தணிப்பான்களாக, கிராஃபைட் வடிவிலுள்ள கார்பனும், கன நீரிலுள்ள (D_2O) டியூட்ரியமும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

இம் முறையில் மற்ருெரு நன்மையும் உண்டு. ${}_{92}U^{238}$ தனிமம் தான் பிளவுருமல், நியூட்ரான்களைத் தன்வசப்படுத்திஞல், அவை சமன்பாடு (*10·24*); (*10·25*)-ல் கண்டவாறு, ${}_{94}Pu^{239}$-ஐக் கொடுக்கிறது. ${}_{94}\overset{*}{Pu}{}^{239}$ α-கதிரியக்கம் கொண்டு, ${}_{92}U^{235}$ தனிமத்தை அளிக்கிறது. எனவே, வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் பிளவுறும் வாய்ப்பு மிக அதிகம் கொண்ட தனிமமான ${}_{92}U^{235}$-ஐ வளர்க்கவும் இம் முறை பெரிதும் பயன்படுகிறது.

12.4 அணு உலை (Nuclear Reactor)

அணுக்கருப் பிளவைத் தொடர்வினையில் கிடைக்கும் பேராற்றலைக் கட்டுப்படுத்தி, தேவைக்கேற்றவாறு பயன்படுத்துவதே அணு உலையின் பணியாகும். அணு உலைகள் மூன்று வகைப்படும்.

(a) வெப்பவியல் அணு உலைகள் (Thermal Reactors): இந்த வகை அணு உலைகளில் வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் தொடர் வினை செயல்படுகிறது.

(b) நடுத்தர வெப்பவியல் அணு உலைகள் (Intermediate Reactors): இந்த வகை அணு உலைகளில் வெப்பவியல் நியூட்ரான்களைவிடச் சற்றே வேகமாகச் செல்லும் நியூட்ரான்களால் தொடர்வினை செயல்படுகிறது.

(c) விரைவு அணு உலை (Fast Reactors): இந்த வகை அணு உலைகளில் வேக நியூட்ரான்களால் தொடர்வினை செயல்படுகிறது. உலைகளில் அடுக்கப்பட்டிருக்கும் பிளவுறு தனிமங்களும் தணிப்பான்களும் ஓர் அணிக்கோவையாக அமைந்தால், அந்த உலை, 'ஒருபடித்தான அணு உலை' (Homogenous Reactor) என்றும், கலந்து அடுக்கப்பட்டிருந்தால் 'பலபடித்தான அணு உலை' (Heterogenous Reactor) என்றும் கூறுவதுண்டு.

ஓர் அணு உலையின் சக்தியை, அதனுள் இடப்பட்ட பிளவுறும் தனிமத்தின் நிறையையும், ஏவப்படும் நியூட்ரான் பாயத்தையும் கொண்டு கணக்கிடலாம். 'nv' பாயமுடைய நியூட்ரான்கள், ஓரலகு பருமனுக்கு, N அணுக்கருக்கள் உள்ள ஒரு தனிமத்தில்

ஏ ஏற்படுமானால், அந்தத் தனிமத்தில், ஓரலகு பருமனில் ஏற்படும் பிளவைகளின் எண்ணிக்கை,

$$= nv\ \sigma_f\ Nt$$

(சமன்பாடு 8·12-ஐப் பார்க்கவும்)

$t = 1$ அலகு

$\sigma_f =$ நியூட்ரானின் பிளவை வாய்ப்பு.

அந்தத் தனிமம் v பருமனும் M கிலோகிராம் நிறையுமுடையதாக இருந்தால், அந்தத் தனிமத்தில் ஏற்படும் பிளவையின் மொத்த எண்ணிக்கை,

$$= nv\ \sigma\ Nv \qquad (12\cdot6)$$

காட்டாக, ${}_{92}U^{235}$-ஐ எடுத்துக்கொண்டால், அது வெப்பவியல் நியூட்ரான்களால் பிளவுறும் வாய்ப்பு (σ_f) 580 பாண் ஆகும்.

மேலும், 1 கிராம் U^{235}-ல் உள்ள அணுக்கருக்கள்

$$= \frac{6.023 \times 10^{23}}{235}$$

M கிலோகிராம் U^{235}-ல் உள்ள மொத்த அணுக்கருக்கள்

$$= \frac{6.023 \times 10^{23}}{235} \times 10^3 \times M$$

இதுவே 'v' பருமனில் உள்ள அணுக்கருக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை (Nv) ஆகும்.

எனவே, ஏற்படும் பிளவையின் மொத்த எண்ணிக்கை,

$$= (nv)\ .\ 580\ .\ \frac{6.023 \times 10^{23}}{235} \times 10^3\ M$$

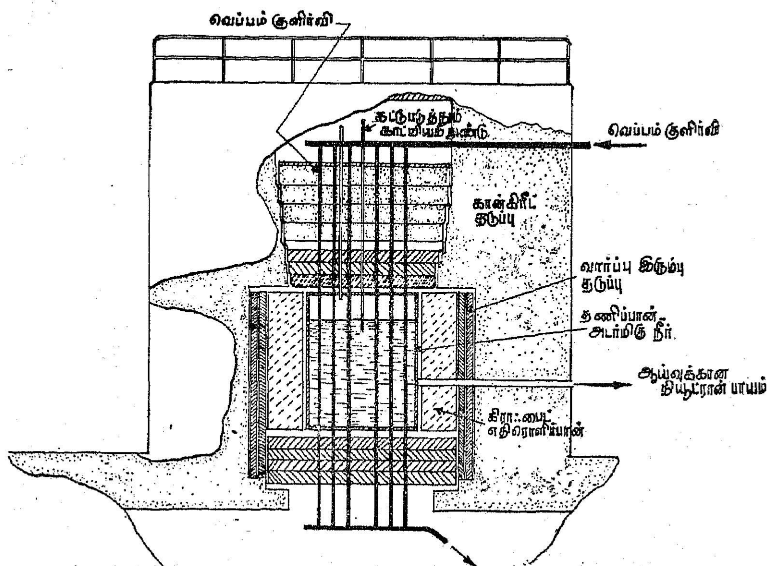
ஒரு பிளவையினால் தோன்றும் ஆற்றல் 200 Mev. எனவே, மொத்த ஆற்றல்,

$$= nv \times 580 \times \frac{6.023}{235} \times 10^{23} \times 10^{23} \times 200 \times M\ (Mev)$$

எனவே, சக்திமட்டம் $= 5 \times 10^{-8}\ M\ (nv)$ (12·7)

எனவே, குறிப்பிட்ட (M) நிறையையும், (nv) நியூட்ரான் பாயத்தையும் கொண்ட அணு உலையின் சக்தியைக் காணல் எளிது. ஓர் அணு உலையின் மாதிரியைப் படம் (12.2) விளக்குகிறது.

யுரேனியத் தனிமமும், தணிப்பான்களும், மாற்றி மாற்றி யமைக்கப்பட்ட கலத்தினிடையே சில காட்மியம் தண்டுகள் தானியங்கிகளால் செயல்படும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



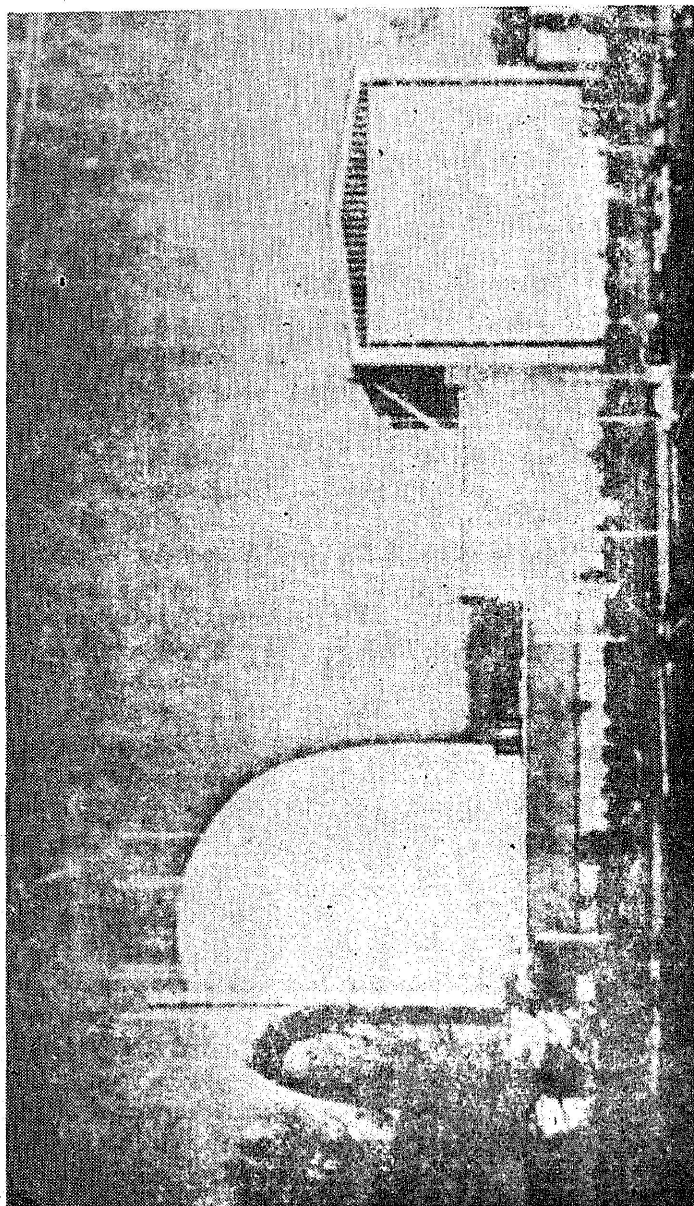
அணு உலை

படம் 12.2

அணு உலை செயல்படும் விதம்

காட்மியம், வெப்பவியல் நியூட்ரான்களை உட்கவரும் தன்மை வாய்ந்தவையாதலால், தேவைக்கதிகமான நியூட்ரான்களை உட் கவர இவை உதவும். உடன் வெளியேறும் நியூட்ரான்களைக் கட்டுப் படுத்த இயலாதாகையால், தாமதித்து வரும் நியூட்ரான்களைக் கட்டுப்படுத்தி *K*-ன் மதிப்பை ஏறத்தாழ '1' என்ற அளவில் வைத்துக்கொள்ள இயலும். இந்த வகையில் 0·76% அளவே உள்ள தாமதித்த நியூட்ரான்கள் மிகமிகப் பயன்படுகின்றன.

ஓர் அணு உலையை இயக்குவதில் பல இடர்ப்பாடுகள் உள்ளன. (i) யுரேனியம் வேதியியல் வினைத்திறன் மிக அதிக மாகப் பெற்றிருப்பதால் அது ஆக்ஸைடாக மாறுமல் இருக்க அலுமினிய மேல்பூச்சு தேவைப்படுகிறது. (ii) உலை மிக அதிக மாக வெப்பம் அடைவதால் குளிர்விகள் பயன்படுத்தவேண்டி யிருக்கிறது. (iii) உலையிலிருந்து வீசும் கதிரியக்கமும், நியூட்ரான்



அணு உலை

வீச்சும், தீங்கு மிக்கவை. உலையை இயக்குபவர்கள் மிக அருகில் நெருங்க முடியாது. எனவே, தானியங்கி வழிமுறைகளைக் கடைப் பிடிப்பது அவசியமாகிறது.

12.5 அணு உலை கொண்டு ஆற்றல் பெறுதல்

அணு உலையில் வெளிப்படும் வெப்ப ஆற்றல் மிக அதிகம். ஆயினும், கதிரியக்கம் மிகுதியாக இருப்பதால் தண்ணீரை ஆவி யாக்க இந்த வெப்பத்தை நேரடியாகப் பயன்படுத்துவதில்லை. எனவே, உலையின் வெப்பத்தை, அதைச் சுற்றி அமைந்த குழாய் களில் செலுத்தப்படும் தண்ணீரால் கடத்தப்பட்டு வெப்ப மாற்று முறையில் (heat exchange method) மற்றொரு குழாயிலுள்ள தண்ணீர் கொதிக்கவைக்கப்படுகிறது. இந்தத் தண்ணீர் ஆவியாக் கப்பட்டு, டர்பைனை இயக்கி மின்னாற்றலாக மாற்றப்படுகிறது.

12.6 அணு உலைகளால் விளையும் பயன்கள்

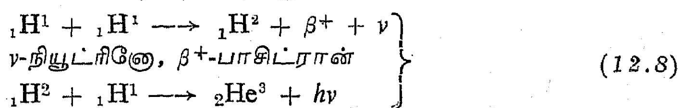
அறிவியல் ஆராய்ச்சிகளில் தேவைப்படும் கதிரியக்க மூலங்கள், பொறியியலார்க்குத் தேவையான காமாக் கதிர் வீசும் மூலங்கள், மருத்துவத்துறைக்குத் தேவையான கதிரியக்க சோடியம், கதிரியக்க கோபால்ட் போன்றவைகளும் அணு உலை களால் தயாரிக்கப்படுகின்றன. $_{92}U^{233}$, $_{92}U^{235}$ போன்ற பிள வுறும் தனிமங்களை வளர்க்கும் அணு உலை (Breeder Reactor) பிற் காலத்தில் தோன்றக்கூடும். பிளவுறு தனிமங்களின் பற்றுக் குறையை நீக்கக்கூடியது. சுருங்கச் சொன்னால் மனித குலம் வளமையோடு வாழத் தேவையான ஆற்றலைக் கொடுத்து ஆற்றல் பற்றுக்குறையை நீக்கக்கூடிய ஒரே சாதனம் அணு உலைதான்.

12.7 வெப்ப அணுக்கரு வினைகள் (Thermo Nuclear Reaction)

அணுக்கருப் பிளவையின் ஓர் அணுக்கரு இரு துண்டுகளாகப் பிரிந்து ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது என்று கண்டோம். இது போலவே, இலேசான அணுக்கருக்கள் இரண்டு, ஒன்றுடனொன்று சேர்ந்து பிணைவுற்று அதிக நிறை கொண்ட ஒரே அணுக்கருவாக மாறும்போது ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இந்த விளைவுக்கு அணுக் கருச் சேர்க்கை (Fusion) என்று பெயர். அண்டம் தோன்றிய போது, மிக அதிகமாக இருந்த ஹைட்ரஜன் வாயு எவ்வாறு அதிக நிறையுள்ள தனிமங்கள் தோன்றக் காரணமாயிருந்தது என்பதை இந்த விளைவு, ஓரளவு தெளிவாக விளக்குகிறது. ஹைட்ரஜன் வாயு ஒரு விண்மீன்போலக் கூட்டமாக நெருங்கி, ஈர்ப்பு விசைகளால் செயல்பட்டு, ஈர்ப்பு விசை நிலையாற்றல், இயக்க ஆற்றலாக மாறுகிறது. எனவே,. ஹைட்ரஜன் வாயு

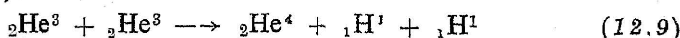
புரோட்டான்களும், எலக்ட்ரான்களுமாகப் பிரிந்து உறுமிகை வெப்பத்தினால் அயனி நிலையில் பிளாஸ்மாவாக அமைகிறது. புரோட்டான்களின் ஆற்றல், பிளாஸ்மா வெப்பநிலையில் ஒரு மாக்ஸ்வெல் பங்கீடாக அமையும். இரு புரோட்டான்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கி, இணைந்து ஒரே அணுக்கருவாகின்றன. இதனால் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப ஆற்றல் வெளியிடப்பட்டு அது, விண்மீனின் வெப்பநிலையை ஒரு சமநிலையில் நிறுத்திவைக்க உதவுகிறது. இரு அணுக்கருக்கள் ஒன்றாக இணைய அவை ஒன்றுக்கொன்று 10^{-13} செ.மீ. அளவில் நெருங்கவேண்டும். அவ்வாறு மோதலுறச் சுற்றுப்புற வெப்பவியல் ஆற்றல் ஏறத்தாழ 10^{7} °K வெப்பநிலை தேவை. ஈர்ப்பு விசையால் நெருக்கப்பட்ட விண்மீன் வாயுக்கள் இந்த வெப்பநிலையைக் கொண்டிருக்க முடியும் எனத் தெரிகிறது. இந்தவகை அணுக்கரு வினைகள் 'வெப்ப அணுக்கரு வினைகள்' எனப் பெயர் பெறும்.

இந்தவகை அணுக்கரு வினைகளின் அடிப்படை வினை புரோட்டான் வினைத்தொடராகும்.



$$\left.\begin{array}{l} {}_1H^1 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_1H^2 + \beta^+ + \nu \\ \nu\text{-நியூட்ரினோ, } \beta^+\text{-பாசிட்ரான்} \\ {}_1H^2 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^3 + h\nu \end{array}\right\} \qquad (12.8)$$

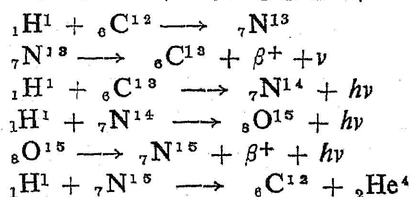
இதுபோலவே மேலும் ஒரு வினையால் மற்றொரு ${}_2He^3$ உருவாகும். எனவே,



$${}_2He^3 + {}_2He^3 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_1H^1 + {}_1H^1 \qquad (12.9)$$

ஆகவே, ஆறு புரோட்டான்களை ஒன்றாகச் சேர்த்து, ஒரு α-துகளும், இரு புரோட்டான்களையும் அடைகிறோம். எனவே, கிடைக்கப்பெறும் ஆற்றல் நான்கு புரோட்டான்கள் நிறைக்கும், ஒரு α-துகளின் நிறைக்கும் இடையேயுள்ள நிறை வேறுபாட்டுக்குச் சமமான ஆற்றலான 24.7 *Mev* ஆகும்.

1939ஆம் ஆண்டு, பெத்தே என்பவர், 'கார்பன் சுற்று' (Carbon Cycle) என்கிற மற்றொரு முறையைப் புனைந்துரைத்தார்.



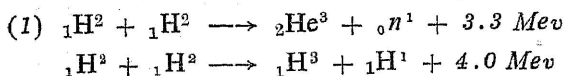
$${}_1H^1 + {}_6C^{12} \longrightarrow {}_7N^{13}$$
$${}_7N^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + \beta^+ + \nu$$
$${}_1H^1 + {}_6C^{13} \longrightarrow {}_7N^{14} + h\nu$$
$${}_1H^1 + {}_7N^{14} \longrightarrow {}_8O^{15} + h\nu$$
$${}_8O^{15} \longrightarrow {}_7N^{15} + \beta^+ + h\nu$$
$${}_1H^1 + {}_7N^{15} \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_2He^4$$

எனவே, இப்போதும், கிடைக்கும் ஆற்றல், நான்கு புரோட்டான்களின் நிறைக்கும் ஒரு α-துகளின் நிறைக்குமிடையே உள்ள நிறை வேறுபாட்டிற்குச் சமமான ஆற்றலான 24.7 *Mev* ஆகும்.

$_6C^{12}$ கரு, ஒரு வினையூக்கியாகச் செயல்படுகிறது.

சூரியனைப் போன்று 2×10^6 °K உள் வெப்பநிலையையுடைய விண்மீன்களில் புரோட்டான்-புரோட்டான் சுற்றுவினை திறமையாகச் செயல்படுகிறது. இதைவிட அதிக வெப்பநிலைகளில் உள்ள விண்மீன்களில் 'கார்பன் சுற்றுவினை' செயல்படுகிறது எனலாம்.

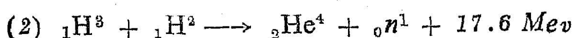
இவ் விருவகை சுற்று வினைகளால் மனிதனால் கட்டுப்படுத்தப் பட்ட வினையாக்க ஆற்றல் பெறுவது கடினம். எனவே, நேரடியாக நாம் வெப்ப அணுக்கரு வினையால் ஆற்றல்பெறச் சிறந்த வினைகள் கீழ்க்கண்டவைதாம் என்று கண்டுள்ளார்கள்.



$$(1) \quad _1H^2 + {_1H^2} \longrightarrow {_2He^3} + {_0n^1} + 3.3\ Mev$$

$$_1H^2 + {_1H^2} \longrightarrow {_1H^3} + {_1H^1} + 4.0\ Mev$$

அல்லது



$$(2) \quad _1H^3 + {_1H^2} \longrightarrow {_2He^4} + {_0n^1} + 17.6\ Mev$$

நம் கோளில் பரந்துகிடக்கும் கடல் நீரில் 10^{15} டன்கள் டியூட்ரியமாவது கிடைக்குமெனக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள். எனவே, மேற்குறிப்பிட்ட வினைகளை உருவாக்க முடியும். ஆயினும், மிக அதிக இயக்க ஆற்றல் பெற்ற டியூட்ரான்கள்தாம் ஒன்றையொன்று மோதி ஒரே அணுக்கருவாக உருவாக முடியும். அதற்குத் தேவையான துகள் முடுக்கும் பொறிகளுக்குத் தேவையான ஆற்றல், வெப்ப அணுக்கரு வினையால் கிடைக்கும் ஆற்றலைவிட அதிகமாகப்போய்விடுகிறது. எனவே, வேறு புதிய முறைகள் ஆய்வுக் கட்டத்தில் இருக்கின்றன. டியூட்ரியம்-டிரைடம் கலப்பு வாயுவை உறுமிகு வெப்பநிலையில் அயனியாக்கி (பிளாஸ்மா) காந்தப்புல மொன்றால் கவ்வி நெருக்கினால் அவற்றில் அணுக் கருக்கள் இணைய முடியும். இதற்கான ஆய்வுகள் மிகத் தீவிரமாக உலகெங்கும் நடைபெறுகின்றன. வருங்கால உலகிற்குத் தேவைப் படும் ஆற்றல்-சக்தி, இம் முறையில்தான் கிடைக்கப்போகிறது என்பது உறுதி.

வினாக்கள்

1. அணு உலையில் தணிப்பான்களின் வேலை என்ன ?
2. தொடர்வினை என்றால் என்ன ? தொடர்வினை நிகழத் தேவையான சூழ்நிலைகளை விவரி.
3. விண்மீன்கள் தாம் வீசும் ஆற்றலை எவ்வாறு தயாரிக் கின்றன.
4. வெப்ப அணுக்கரு வினைகளைப்பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுதவும்.

13. காஸ்மிக் கதிர்கள்
(Cosmic Rays)

13.1 முன்னுரை

பல கோடி ஆண்டுகளாக நாம் வாழும் இவ்வுலகம், எங்கிருந்தோ வரும் உறுமிகு ஆற்றலுடைய துகள்களின் பொழிவால் தாக்கப்பட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. இந்தப் புதிரான கதிர்கள் 'காஸ்மிக் கதிர்கள்' எனப்படுகின்றன. கடந்த அறுபது ஆண்டு ஆராய்ச்சிகளால் இந்தக் கதிர்களைப்பற்றி ஓரளவு தெளிவு ஏற்பட்டு இருப்பினும், முழுவதும் விளங்கிக்கொள்ள இயலவில்லை. புவியின் ஒவ்வொரு ச.செ.மீ. பரப்பிலும் ஒவ்வொரு விநாடியிலும் இரு காஸ்மிக் கதிர்கள் விழுகின்றன. படுத்துறங்கும் ஒரு மனிதனின் உடலில் ஒவ்வொரு விநாடிக்கும் 7000 ஆற்றல்மிகு காஸ்மிக் துகள்கள் ஊடுருவுகின்றன. கடலிலும் ஆழமான சுரங்கத்துக்குள்ளும், காஸ்மிக் கதிர்கள் ஊடுருவுகின்றன. அவை எங்கிருந்து ஏன் வருகின்றன? அவற்றின் தோற்றுவாய் எது ? அறிவியல் வரலாற்றிலேயே சிக்கலான கேள்விகள் இவை! இவற்றுக்கு விடையளிக்க முயன்று எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட ஆய்வுகள் எத்தனையோ! சிக்கல் தீரவில்லையெனினும், புதிய உண்மைகள் பலவும், எதிர்பாராத புதிய விளைவுகள் சிலவும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டு இயற்பியல் துறையில் ஒரு புரட்சியையே ஏற்படுத்திய பெருமை இந்தத் துறை ஆய்வாளர்களுக்கு உண்டு. காஸ்மிக் கதிர்களைப் பற்றிய சில சீரிய ஆய்வுகளையும் விளைவுகளையும் இங்கு நாம் காண்போம்.

13.2 கண்டுபிடிப்பு

நிலவுலகில் பரவியுள்ள காற்று எப்பொழுதுமே ஒரு 'குறை மின் கடத்தி' (partial conductor of electricity) யாக இருப்பதை C. T. R. வில்சன் எல்ஸ்டர் (Elster), கைய்ட்டல் (Geitel) போன்ற அறிவியலாளர்கள் 20ஆம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் கண்டார்கள். நிலவுலகிலும் அதைச் சுற்றியுள்ள வளி

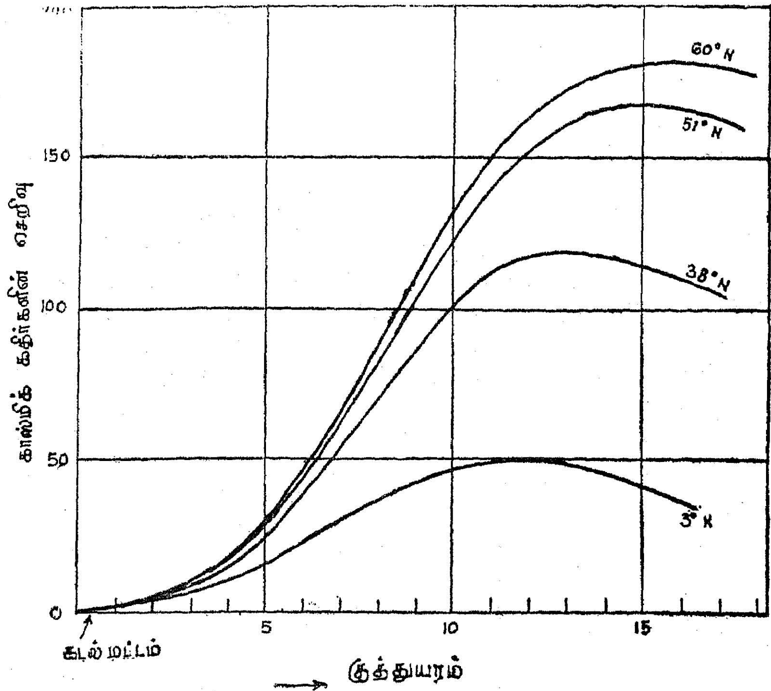
மண்டலத்திலும் எங்காவது இருக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களி லிருந்து வெளிவரும் கதிரியக்கத் துகள்கள் சுற்றுப்புறக் காற்றை ஓரளவு அயனியாக்குவதால் ஏற்படும் விளைவு என்று ஒரு காலத்தில் கருதப்பட்டது. எனவே, இது உண்மையாயின், மேற்கூறிய கதிர் வீச்சுகளுக்கு அப்பாற்பட்ட மிக அதிக உயரங்களில் இந்த அயனி யாக்கம் குறைந்து காணப்படவேண்டும். 1910ஆம் ஆண்டு அருள்திரு வொல்ஃப், S. J. என்பவர், 300 மீட்டர் உயரம் கொண்ட ஈஃபல் கோபுரத்தின் மேலிருந்துகொண்டு சோதனை செய்ததில் காற்றின் அயனியாக்கம் குறையாமல் இருப்பதைக் கண்டார். ஆஸ்திரேலிய நாட்டு விஞ்ஞானி விக்டர் ஹெஸ் (Hess) என்பவர், பலூன்களில் அயனிக்கலம் போன்ற ஆய்வுக் கருவிகளைப் பொருத்தி 5400 மீட்டர்கள் உயரம் வரை பலூன்களைச் செலுத்தி ஏற்படும் அயனி மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட்டார். அந்த உயரத்தில் கடல் மட்டத்திலுள்ளதைப்போல் அயனியாக்கம் பத்து மடங்குவரை அதிகரிப்பது மிகத் தெளிவாக இச் சோதனைகள்மூலம் தெரியவந்தது. எனவே, நிலவுலகிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்கள் இதற்குக் காரணமாக இருக்கமுடியாது என்பதும், மிக்க ஊடுருவு திறன் கொண்ட கதிர்வீச்சு வகை யொன்று நம் வளிமண்டலத்திற்கு முற்றிலும் அப்பாலுள்ள பகுதியிலிருந்து புவியின்மீது விழுந்துகொண்டே இருக்கிறது என்றும் முடிவு செய்யப்பட்டது. அது 'காஸ்மிக் கதிர்வீச்சு' என்றழைக்கப்பட்டது. நுட்பமான ஆராய்ச்சிகளின் முடிவில் நம் வளிமண்டலத்தை, எங்கிருந்தோ வந்து தாக்கும் கதிர்கள் 'முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள்' (Primary Cosmic Rays) என்றும் அவை காற்று மண்டலத்தில் உள்ள பொருள்களோடு செய லெதிர்ச் செயல்பட்டு, அதனால் பொழியும் துகள்கள் 'இரண்டாம் நிலை காஸ்மிக் கதிர்கள்' (Secondary Cosmic Rays) என்றும் இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

காஸ்மிக் கதிர்கள் ஆராய்ச்சியில் முதன் முதலில் அயனிக் கலங்கள்தாம் மிக அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. பின்பு கைகர்-முல்லர் எண்ணிகள் பயன்படுத்தப்பட்டன. பிறகு ஒரு குறிப்பிட்ட அடுக்கு உத்தியைப் (Telescopic Techniques) பயன் படுத்திக் குறிப்பிட்ட திசையிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்களை மட்டும் பதிவு செய்யக்கூடிய வகையில் செயல்படும் ஒருங்கியங்கு (coincidence) எண்ணிகள் சிறப்பாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன.

13.3 இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களும் அவற்றின் தன்மைகளும்—குத்துயர விளைவு (Altitude Effect)

அயனிக் கலங்களைப் பலூன்களில் வைத்து உயரத்தில் செலுத்தி வெவ்வேறு வளிமண்டலக் குத்துயரப் பகுதிகளிலும் காஸ்மிக்

கதிர்களின் செறிவை, பவுன் (Bowen), மில்லிகன் (Millikan), நெஹர் (Neher) போன்ற விஞ்ஞானிகள் கணக்கிட்டார்கள். மேலும், வீசும் பாய்வுக் கூண்டுகளைக் (sounding baloons) கொண்டு, 30 கி. மீட்டர் உயரம் வரை விழுகின்ற காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவைக் கண்டுணர்ந்தார்கள். படம் (13.1) வெவ்வேறு குத்துயரங்களில் காணப்பட்ட காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.



படம் 13.1

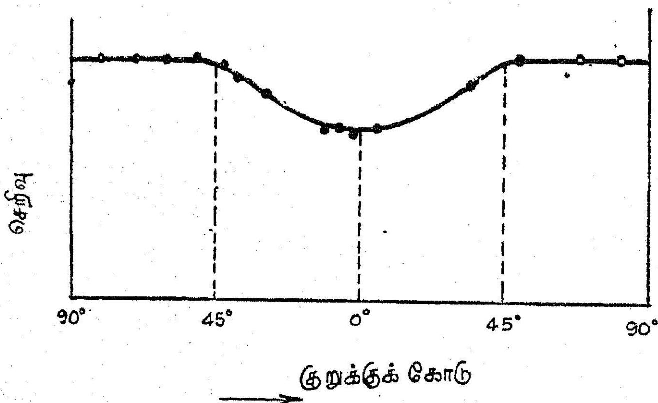
காஸ்மிக் கதிர்கள் ஆய்வு—குத்துயர விளைவு காணல்

குறிப்பிட்ட வளிமண்டலக் குறுக்குக்கோட்டில் (given latitude) கடல் மட்டத்திலிருந்து 8.5 கிலோமீட்டர் உயரம் வரையில் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு அதிகமாகிக்கொண்டே சென்று ஒரு பெரும மதிப்பை அடைந்து, பின்னர் சீராகக் குறைந்துவிடுகிறது. இந்தப் பெரும மதிப்பு, எல்லாக் குறுக்குக் கோட்டிலும் ஒரே அளவாக இல்லாமல், குறுக்குக் கோட்டின் குறைந்த பாகைக்குக் குறைந்த அளவாகவும் மிகுந்த பாகைக்கு மதிப்பு அதிகமாகவும்

இருக்கிறது. புவி நடுக் கோட்டிற்கு அருகில் பொதுவாகவே காஸ்மிக் கதிர் செறிவு குறைவாகத்தென்படுகிறது. வளிமண்டலத்தின் குத்துயரத்திற்குத் தகுந்தாற்போல காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவினுல் அயனியாக்கம் மாறுபடுவதைக் 'குத்துயர விளைவு' என்றும், வளிமண்டலக் குறுக்குக் கோட்டின் வெவ்வேறு பாகையில் செறிவு மாறுபடுவதைக் 'குறுக்குக் கோட்டு விளைவு' என்றும் கூறுவது வழக்கம்.

13.4 குறுக்குக்கோட்டு விளைவு (Latitude Effect) அல்லது புவிக் காந்த விளைவு (Geomagnetic Effect)

கிளே (Clay), மில்லிகன் (Millikan), காம்ப்டன் போன்ற விஞ்ஞானிகள் கடல் மட்டத்திலேயே வெவ்வேறு தெரிந்தெடுக்கப்பட்ட குறுக்குக் கோட்டிலும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவையறியப் பல சோதனைகளை நடத்தினர். இந்தச் சோதனைகளின் பயனுக, காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவுக்கும், புவிக் காந்தப்புலனுக்கும் நெருங்கிய தொடர்பு இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. புவி நடுக்கோட்டில் காஸ்மிக் கதிர்களால் ஏற்படும் அயனியாக்கத்தின் மதிப்பு, மற்றக் குறுக்குக் கோடுகளில் சோதனைகள் மூலம் அறியப்பட்ட அயனியாக்கத்தைவிட 10%முதல் 50%வரை குறைந்து காணப்பட்டது. படம் (13.2) இதை விளக்குகிறது.



படம் 13.2

வெவ்வேறு குறுக்குக் கோடுகளில் கிடைக்கும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு

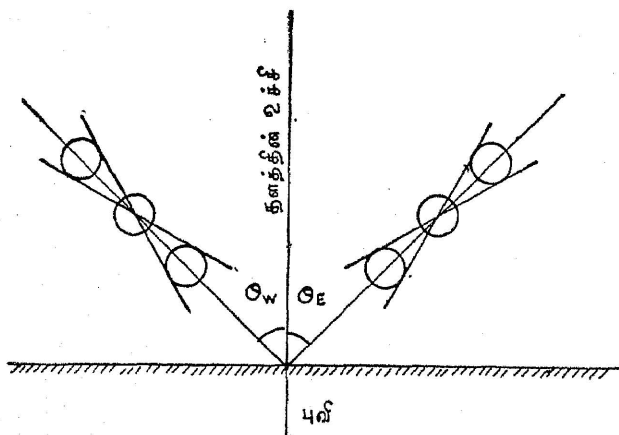
இதற்கான கணக்கியல் கொள்கையை ஸ்டாமர் (Stormer), வல்லார்டா (Vallarta), லாமெயிட் (La Maitre) போன்ற அறிஞர்கள் வெளியிட்டார்கள். இதன்படி இரண்டாம்நிலை

காஸ்மிக் கதிர்களைத் தோற்றுவிக்கும் முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள் மின்னூட்டம் பெற்றவைகளாகத்தான் இருக்க வேண்டும் என்று முடிவு செய்ய முடிகிறது. வளிமண்டலத்தி லிருந்து பார்க்கும்பொழுது, இப் புவி $8 \cdot 1 \times 10^{18}$ ($J.T^{-1}$) காந்தத் திருப்புதிறன் கொண்ட ஒரு காந்த இரு முனைபோல் செயல் படுகிறது எனக் கொள்ளலாம். எனவே, மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு துகள் புவி நடுக்கோட்டுத் தளத்தில், புவியை நெருங்கினால், அதன் பாதை, காந்தப்புல விசைக்கோடுகளுக்குச் செங்குத்தாக இருப்பதால், துகள் அதன் செல்திசைக்குச் செங்குத்து திசையில் விலக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு வெவ்வேறு தளத்தில் புவியை நெருங்கும் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள், வெவ்வேறு அளவுக்குத் திசை திருப்பப்படும். எலக்ட்ரான் அளவு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் புவி நடுக்கோட்டுத் தளத்தின்வழி புவியையடைய 60 *Bev* இயக்க ஆற்றலாவது தேவைப்படும் எனக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள். மாறாக, துருவப்பகுதிகளில் வரும் துகள்கள் மின்னூட்டம் பெற்றிருந்தாலும் காந்தப்புவி விசைக்கோடுகளுக்கு இணையாக வந்து அடைவதால், அவை எந்தவித எதிர்ப்பு விசைக்கும் ஆளாகாமல் புவியை வந்தடையும் எனலாம். மேலும், இவர்களின் கணிதவியல் கொள்கை, குத்துயர விளைவில் காணப்பட்ட செறிவு வேறுபடும் தன்மைகளையும் நன்கு விளக்குகிறது. காஸ்மிக் கதிர்கள் வளிமண்டலத்திற்கு அப்பாலிருந்து மண்டலத்தினுள் நுழையும் தறுவாயில், அவற்றுடன் செயலெதிர்ச் செயல்பட பருப்பொருள்கள் அதிகமில்லாததால் (அந்த உயரத்தில் பருப்பொருள்களின் அடர்த்தி குறைவு) அயனியாக்கம் குறைந்து காணப்படுகிறது. பின்பு பருப்பொருள்களின் அடர்த்திமிக்கதாய் உள்ள உயரத்தை அடைந்ததும் அயனியாக்கம் மிக அதிக அளவில் நடைபெறுகிறது. இதன் பயனால் முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றல் குறைந்து படுவதால் அதற்கடுத்த கீழ்ப்பகுதிகளில் (உயரத்தில்) அது விளைவிக்கும் அயனியாக்கத்தின் செறிவு குறைந்துகொண்டே போகிறது என்பது விளங்கும்.

13.5 கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீரின்மை (East-West Asymmetry) அல்லது இடைமட்டத் திசை விளைவு (Azimuthal Effect)

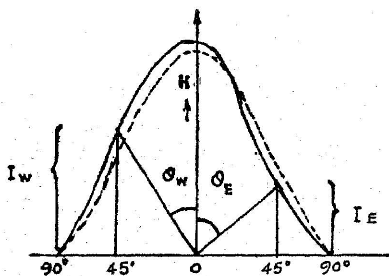
ஒன்றின்மேல் ஒன்றாகப் படம் (13.3)-ல் காட்டியவாறு மூன்று ஒருங்கியங்கு கைகர் எண்ணிகளை ஓர் அடுக்காக வைத்து, குறிப்பிட்ட உச்சிக்கோணங்களில், கிழக்குத் திசையிலிருந்தும் மேற்குத் திசையிலிருந்தும் வரும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவுகளைப் பதிதல் எளிது. சோதனைகளின் மூலம் தெரியவந்த சிறப்பான தகவல் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவில் கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீரின்மையே ஆகும். குறிப்பாக எல்லா உச்சிக்கோணங்களிலும், மேற்கிலிருந்து

வரும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு, கிழக்கிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. படம் (13.4) இதை விளக்குகிறது.



படம் 13.3
வெவ்வேறு கிடைமட்டத் திசைகளிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு காணும் முறை

இந்த விளைவு, முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள் பெரும்பாலும் நேர்மின் துகள்களைக் கொண்டவை என்பதைக் காட்டுகிறது. ஃபிளமிங் வலக்கை விதிப்படி புவிக்காந்த விசைக்கோடுகள் அமையும் திசையில் வரும் துகள்கள் நேர்மின் துகள்களாக இருந்தால் கிழக்கு நோக்கியும், எதிர்மின் துகள்களாக இருந்தால் மேற்கு நோக்கியும் விலக்கப்படும். எனவே, செங்கோட்டு நிலையிலிருந்து, நேர்மின் துகள்கள் மேற்குத் திசையிலிருந்து

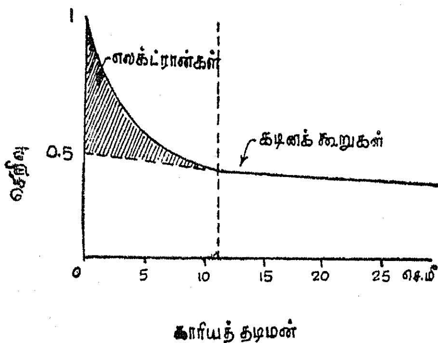


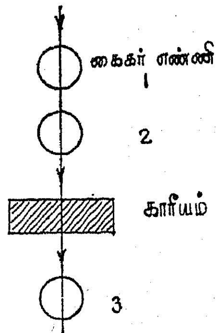
படம் 13.4
கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீரின்மை

வருவது போன்றும், எதிர் மின் துகள்கள் கிழக்குத் திசையிலிருந்து வருவது போன்றும் தோன்றும். எனவே, காஸ்மிக் கதிர்களில் எதிர்மின் துகள்களைவிட நேர்மின் துகள்கள் அதிகமாயிருந்தால், கிழக்குத் திசையிலிருந்து புவியையடையும் காஸ்மிக் கதிர்களைவிட மேற்குத் திசையிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்கள் செறிவு மிக்கதாக இருக்கும். ஆகவே, செய்முறைகளால் மெய்ப்பிக்கப்பட்டபடி முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களில் நேர்மின் துகள்கள் அதிக எண்ணிக்கையிலிருக்கின்றன என்று முடிவு செய்யலாம்.

13.6 இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்கள் உட்கவரப்படுதல் (Absorption of Secondary Cosmic Rays)

காஸ்மிக் கதிர்களின் இயக்க ஆற்றலையும் அதன் ஊடுருவக் கூடிய திறனையும் காண, உட்கவர் சோதனைகள் பல நடத்தப் பட்டன. மூன்று கைகர் - முல்லர் எண்ணி ஒருங்கியங்கு அடுக்காக (படம் 13.5b) அமைத்து GM2 என்ற எண்ணிக்கும், GM3 என்ற எண்ணிக்குமிடையே அலுமினியம், காரீயம் போன்ற உட்கவர் பொருள்கள் வைக்கப்படுகின்றன. உட்கவர் பொருளின் தடிமம் 't' சிறிது சிறிதாக அதிகரிக்கப்படுகிறது. எப்பொழுது கதிர்கள்





(a) படம் 13.5 (b)

(a) இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களின் உட்கவர் திறம்

(b) இரண்டாம் நிலை காஸ்மிக் கதிர்களின் உட்கவர் திறம் காணும் கைகர் எண்ணி அடுக்கு

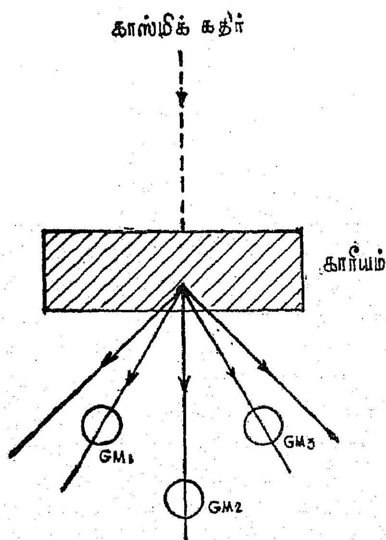
தன் ஆற்றல் முழுவதும் உட்கவர் பொருளிலேயே இழந்து வெளி வராதோ, அப்பொழுது GM3 இயங்காது. எனவே, GM1, GM2 இவையிரண்டும் இயங்கி GM3 இயங்காது போகும்போது மட்டும் பதிவு செய்யக்கூடிய வகையில் இம்மூன்று எண்ணிகளும் ஒருங்கிணைந்து செயல்படுகின்றன. எனவே, உட்கவர் பொருளின் தடிமன் சிறிது சிறிதாக அதிகரித்து காஸ்மிக் கதிர்கள் தன் ஆற்றல் முழுவதும் இழக்கத் தேவையான தடிமனைக் காணமுடியும். ஆகர் (Auger) என்பஸ்ட் (Ehrenfest) போன்றவர்கள் செய்த இந்த ஆய்வுகளின் முடிவு, காஸ்மிக் கதிர்கள் இரு 'ஆக்கக்கூறுகளை' த் தன்னிடத்தே கொண்டிருப்பதைக் காட்டியது. படம் (13.5a) உட்கவர்-விளைவு ஆய்வுகளின் பயன் தரும் முடிவுகளை விளக்கு கிறது. முதல் ஐந்து செ.மீட்டர் காரீயத்தில் காஸ்மிக் கதிர்களின் எண்ணிக்கையில் ஏறத்தாழப் பாதியளவு (50%) உட்கவரப்பட்டு

விடுகிறது. மீதிக் கதிர்கள் அவ்வளவு எளிதாக உட்கவரப்படுவதில்லை. 100 செ.மீட்டர் காரீயத்தினுள் செல்லும்போதுகூட மீதியுள்ள பகுதி முழுவதும் உட்கவரப்படுவதில்லை. எனவே, காஸ்மிக் கதிர்கள் இரு கூறுகளாக இருப்பதைக் காணலாம்.

முதல் கூறு மென்கூறு (soft component) என்று சொல்லப்படும். எளிதில் உட்கவரப்படும் துகள்களைத் தன்னிடத்தே கொண்டது. இவை பெரும்பாலும் எலக்ட்ரான்களே. மற்றொரு பகுதி கடினக்கூறு (hard component). இவை, உட்கவர் பொருள்களால் எளிதில் உட்கவரப்படுவதில்லை. படம் (13.5a)-ல் கோடிட்ட பகுதி மென்கூறு உட்கவரப்படுவதைக் காட்டுகிறது. கடல் மட்டத்தில் கிடைக்கும் காஸ்மிக் கதிர்களில் ஏறத்தாழ 80% கடினக் கூறுதான். ஏனெனில், மென்கூறு, சுற்றுப்புறப் பருப்பொருளால் ஏறத்தாழ முழுவதும் உட்கவரப்பட்டு விடுகிறது. கடினக்கூறு, μ-மெசான் என்ற துகள்கள் கொண்டது என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

13.7 காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு (Cosmic Ray Showers) (or) (Electron Showers)

பிளாக்கெட் (Blackett), ஒசியாலினி (Occhialini) இருவரும் 1936-ல் காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு என்ற விளைவைக் கண்டனர். முகிற் கலத்தைக்கொண்டு, காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றலைக் காணும்பொருட்டுக் கலத்தினூடே, உட்கவர் திறன் பொருந்திய காரீயத் தகடுகளைப் பொருத்தியிருந்தனர். அப்போது, மென்கூறுகள் திடீரெனக் கலத்தினுள் ஒரு கூட்டமாகத் துகள்களைப் பொழிவதைக் கண்டனர். ரோஸி (Roossi) என்ற விஞ்ஞானி இந்தப்பொழிவின் தன்மையை முதலில் கண்டறிந்தார். மூன்று ஒருங்கியங்கு கைகர் எண்ணிகள். படம் (13.6)-ல் காட்டியவாறு, முக்கோண வடிவத்தில் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரே நேரத்தில் இம் மூன்று துகள் உணர் கருவிகளின் வழி



படம் 13.6
காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு

யாகத் துகள்கள் செல்லும்போது மட்டும்தான் இவை இயங்கி ஒரு மின்துடிப்பை உண்டாக்கும். காரீயத்தின் தடிமனைப் படிப்படியாக அதிகரிக்கும்போது, ஒரு குறிப்பிட்ட தடிமன் காரீயம் (1 செ.மீ.) இருக்கும்பொழுது பொழிவு வீதம் பெருமமாக இருப்பதை ரோஸி கண்டார். காரீயத்தின் தடிமனை மேலும் அதிகரித்தால், மற்றோர் அதிகத் தடிமனுக்கு மீண்டும் பொழிவு வீதம் அதிகமாக இருப்பதைக் கண்டார். எனவே, முதல் முறை தோன்றும் பொழிவு மென்கூறுகளால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது என்றும், இரண்டாம் முறை தோன்றும் பொழிவு கடினக் கூறுகளால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது என்றும் முடிவு செய்தார். இந்தப் பொழிவின் காரணத்தை நன்கு புரிந்துகொள்ள மேலும் சில புதிய கண்டுபிடிப்புகளைப்பற்றி நாம் அறிதல் அவசியமாகிறது.

13.8 பாசிட்ரான் கண்டுபிடிப்பு

C. D. ஆண்டர்சன் என்ற அமெரிக்க நாட்டு விஞ்ஞானி 1932-ல் பிளாக்கெட் பயன்படுத்திய முகிற்கலம் போன்ற ஒன்றைப் பயன்படுத்தி காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றலை ஆராயும் முயற்சியில் ஈடுபட்டிருந்தார். சில இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றல் 1 Bev வரை கூட இருந்தது. மேலும், காந்தப் புலத்தின் விசையால் வலப் பக்கமாகவும், இடப் பக்கமாகவும் திசைவிலக்கம் செய்யப் பட்ட துகள்கள் சம அளவில் இருந்தன. எனவே, இந்த காஸ்மிக் கதிர்களில் நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற புரோட்டான்களும், எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற எலக்ட்ரான்களும் சம அளவில் இருக்கின்றன என்று முதலில் எண்ணினர்.



C. D. ஆண்டர்சன்

ஆயினும், இவ்விரு எதிரெதிர்த் திசைகளில் விலக்கம் பெற்ற துகள்களின் அயனியாக்கு திறன் ஒரே அளவாக இருந்தது. புரோட்டான்களைவிட, எலக்ட்ரான்களின் அயனியாக்கு திறன் மிகமிகக் குறைவு. எனவே, எலக்ட்ரானுக்கு எதிர்ப்புறம் திசைவிலக்கம் செய்யப்படும் துகள் புரோட்டானாக இருக்கமுடியாது என்று தெரியவந்தது. 'மேலிருந்து கீழ் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் விலக்

கப்படும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் விலக்கப்படும் துகள்கள், உண்மையில் கீழிருந்து மேல் செல்லும் எலக்ட்ரான்களோ என்ற ஐயப்பாடு தோன்றிற்று. ஏனெனில், அவ்வாறு செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் எதிர்த் திசையில்தாம் விலக்கம் பெறும். இந்த ஐயப்பாட்டைப் போக்கத் துகள்கள் செல்லும் பாதையில் காரீயத் தகடுகளை வைத்தார். இப்போது மேலிருந்து கீழ்நோக்கி வரும் துகள்கள் தகட்டில் தன் ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை யிழந்து தகட்டின் கீழ் குறைந்த ஆற்றலோடு செல்லும். எனவே, காந்தப் புலத்தினுல் அதிக விலக்கம் பெறும். கீழிருந்து மேல் செல்லும் துகள்களின் ஆற்றல் தகட்டின் மேற்புறத்தில் குறைவாகவும் கீழ்ப் புறத்தில் அதிகமாகவும் இருக்கும். இந்தச் சோதனையில் எதிரெதிர்த் திசையில் விலக்கப்படும் துகள்கள் இரண்டுமே மேலிருந்து கீழ்நோக்கித்தான் செல்லுகின்றன என்று மெய்ப்பித்தார். எனவே, எலக்ட்ரானைப் போன்ற நிறையுடையதும், எலக்ட்ரான் அளவு நேர் மின்னூட்டங் கொண்டதுமான புதிய துகள் இது என்றுரைத்தார் இவர். டைராக் என்ற ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானியால் புனைந்துரைக்கப்பட்ட எதிர்க்குறி ஆற்றலுடைய 'பாசிட்ரான்' என்ற துகள் இதுதான் என்று மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. பிளாக்கட்டும், ஓசியாலினியும் இதைப் பின்பு உறுதி செய்தார்கள். டைராக்கின் கொள்கைப்படி, பாசிட்ரான் என்பது எலக்ட்ரானின் எதிர்த் துகள் (anti particle) ஆகும். ஐன்ஸ்டீனின் நிறை ஆற்றல் தொடர்பின்படி, ஒரு பாசிட்ரானும் எலக்ட்ரானும் இணைந்து நிறையழிந்தால் (annihilation of matter) ஆற்றல் உண்டாகும் என்று கண்டோம். இதுபோலவே ஆற்றல் அழிவுற்ருல், நிறை தோன்றுகிறது. எனவே, ஒரு காமாக் கதிர் கொண்டிருக்கும் ஆற்றல் நிறையாக மாறுமென்ருல் (materialization of energy) அது ஓர் 'இரட்டையாக்கத்தை' (pair production) விளைவிக்கும்.

13.9 பெத்தே-ஹீட்லர் மின்னூட்டத் துகள் கதிர்வீச்சுக் கொள்கை (Bethe-Heitler Theory of Charged Particle Radiations)

1934ஆம் ஆண்டு, H. A. பெத்தே, W. ஹீட்லர் என்ற இருவரும் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் உறுமிகை ஆற்றலோடு ஓர் அணுக்கருவோரம் நெருங்கினுல் ஏற்படும் விளைவுகளைக் கணிதவியல் கொள்கைப்படி ஆராய்ந்தனர். அவர்களின் முடிவுகளைப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

(a) மின்னூட்டத் துகள்கள், பருப் பொருள்களினூடே செல்லும்போது இரு வழிகளில் தம் ஆற்றலையிழக்கின்றன. (i) அயனியாக்கம், (ii) கதிர்வீச்சு முறை.

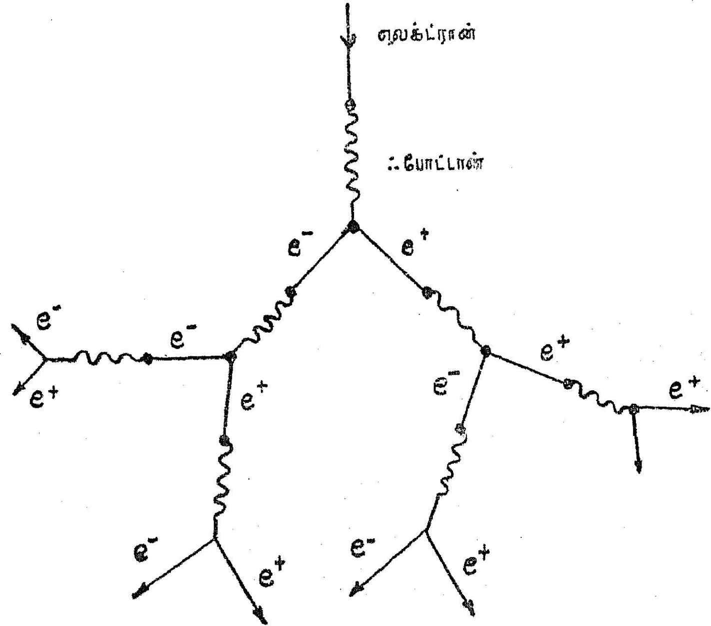
(b) குறைவான நிறையுடைய துகள்கள், அதிக நிறையுடைய துகள்களைவிட அதிகமாகக் கதிர்வீச்சு முறையில் தம் ஆற்றலை இழக்கும் தன்மையுடையன.

(c) துகள்கள் ஊடுருவும் பருப்பொருள்களின் அணு எண் Z அதிகமானால், கதிர்வீச்சு முறையில் ஆற்றல் இழப்பும் அதிகமாகிறது.

(d) துகளின் ஆற்றல் அதிகமானால், கதிர்வீச்சு முறையில் ஆற்றல் இழப்பு விகிதமும் அதிகமாகிறது.

13.10 காஸ்மிக் கதிர்களின் பொழிவுக்குக் கொள்கைசார் விளக்கம்—பொழிவின் அருவிக் கோட்பாடு (The Cascade Theory of Showers)

காஸ்மிக் கதிர்களினால் தோற்றுவிக்கப்படும் பொழிவுக்கான விளக்கத்தை, ஒரே நேரத்தில், H. J. பாபா (H. J. Bhaba),



படம் 13.7
காஸ்மிக் கதிர் பொழிவின் அருவிக் கோட்பாடு

ஹீட்லர் (Heitler) இவர்கள் இருவரும், கார்ல்சன் (J. F. Carlson), ஒபன்ஹைமர் (Oppenheimer) இவர்கள் இருவரும் ஆய்ந்து எடுத்துரைத்தனர். பொழிவு, 'நிறையழிந்து ஆற்றல் தோன்றுவதும், ஆற்றல்' அழிந்து நிறை (இரட்டைத் துகள்களாக) தோன்றுவதுமான' ஒரு தொடர் விளைவாகும் என்றனர். மிகவும் கடினமான கணக்கியல் முறைகளைக் கொண்ட இந்தக் கொள்கையின் சில முடிவுகளைமட்டும் நாம் இங்குக் குறிப்பிடலாம்.

(1) இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களில் உறுமிகை ஆற்றல் கொண்ட (*Bev*) எலக்ட்ரான்களும் போட்டான்களும் நிறைந்து காணப்படுகின்றன.

(2) காணப்படும் பொழிவு, ஆற்றல் மிக்க துகள்கள், அணுக்கருவருகே செயலெதிர்ச் செயல்படுவதால் ஏற்படும் நிறை ஆற்றலாகவும் ஆற்றல் நிறையாகவும் மாறும் தொடர் விளைவேயாகும் (Cascade process). படம் (*13.7*) இதை விளக்குகிறது.

(3) படம் (*13.7*)-ல் காட்டியபடி. ஒவ்வொரு தொடர் விளைவிலும் காணப்படும் வினை, இரட்டையாக்கமும் (எலக்ட்ரான்-பாசிட்ரான் இரட்டை), ஃபோட்டான்களுமேயாகும். ஒரு ஃபோட்டான், பருப்பொருளின் அணுக்கருவுடன் செயலெதிர்ச் செயல்படும்போது அந்த அணுக்கருவின் இயலமைப்பு மாறுவதில்லை.

(4) இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களில் காணப்படும் மென் கூறுத் துகள்கள், உண்மையில் வெறொரு பெரிய அளவில் செயல்படும் பொழிவின் காரணமாகத் தோன்றும் எலக்ட்ரான்களே யாகும்.

தொடர் விளைவுக் கொள்கைகொண்டு கடினக் கூறினால் ஏற்படும் பொழிவை விளக்க இயலவில்லை. எனவே, கடினக்கூறின் தன்மைபற்றி மேலும் அறிய மேற்கொண்ட செய்முறைச் சோதனைகள், புதிய துகள்களைக் கண்டுபிடிக்க வித்தாயின.

13.11 முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள்

முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் அதிகம் கொண்டனவாக இருத்தல் வேண்டும் என்று 'கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீரமைவின்மை' யும் புவிக் காந்தப்புல விளையும் நன்கு எடுத்துக்காட்டியது என்று பார்த்தோம். கடல் மட்டத்திலிருந்து 50 கிலோமீட்டருக்கு அப்பால், காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு, மாறுமல் இருந்தது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அந்த

உயரத்தில் சூழ்பொருள்களே இரா. எனவே, அங்குக் காணப்படும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு முழுவதும் முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களைக் கொண்டதே.

முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களைப் பல கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

1. புரோட்டான்கள்
2. ஆல்ஃபாத் துகள்கள்
3. L வகை — Li, B, Be அணுக்கருக்கள்
4. M வகை — C,N,O,F அணுக்கருக்கள்
5. H வகை — $Z = 20$ கொண்ட அணுக்கருக்கள்
6. VH வகை — $Z > 20$ கொண்ட அணுக்கருக்கள்.

பொதுவாக முதன்மை காஸ்மிக் கதிரில் ஏறத்தாழ 92.8% முதல்வகைத் துகளும், 6.3% இரண்டாம்வகைத் துகளும் கிடைக்கின்றன. மற்றவகைத் துகள்களின் அளவு, மிகக் குறைந்து காணப்படினும் அவை விண்மீன் மண்டல வெளியிலிருந்து கிடைக்கும் மாதிரிப் பொருள்களால், அவற்றைக் கண்டுணர்தல் மிக அவசியம் ஆகிறது. முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களின் ஆற்றல் 1 *Bev* முதல் 10^4 *Bev* வரை இருக்கும். இவ்வாற்றலை அறியப் பல உணர்முறைகள் (சிறப்பாக, அணுக்கருப் பூச்சுமுறை) நடைமுறையில் கையாளப்படுகின்றன.

13.12 விரிவான காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு (Extensive Air Showers)

1938ஆம் ஆண்டு ஆகர் (Auger) என்ற விஞ்ஞானி ஒன்றுக்கொன்று பல கிலோமீட்டர்கள் இடைத் தொலைவில் வைக்கப்பட்ட துகள் உணர்விகள் ஒரே நேரத்தில் ஒருங்கே காஸ்மிக் கதிர்கள் பொழிவைப் பதிவு செய்வதைக் கண்டார். காற்றுப் பொழிவு (Air Showers) என்றழைக்கப்பட்ட இந்தப் பொழிவு தோன்றக் காரணம் முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களே.

உறுமிகை ஆற்றல் பொருந்திய முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள் வளிமண்டலத்தினுள் நுழையும்போது, சுற்றுப்புறக் காற்றுப் பொருள்களுடன் ஆற்றல்மிகு மோதல்கள் பலவற்றினால் தம் ஆற்றலை இழக்கும். இந்த மோதல்களினால் பொருள்களின் அணுக்கரு சிதைவுற்று, அடிப்படைத் துகள்கள் பலவற்றைக் கொடுக்கும். K-மெசான், μ-மெசான், ஹைபரான் போன்ற இந்த அடிப்படைத் துகள்கள், முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்களிலிருந்து மோதலின் காரணமாகப் பெற்ற ஆற்றலினால்,

மேன்மேலும் அணுக்கருக்களுடன் செயலெதிர்ச்செயல்பட்டு ஓர் அருவியாகப் பொழிவைத் (Cascade) தோற்றுவிக்கின்றன. இந்தத் தொடர், துகள்கள் தம் ஆற்றல் முழுவதும் இழக்கும் வரையில் தொடர்கிறது. எனவே, கிடைக்கும் துகள் பொழிவு, கிடையாகப் பரவி ஒரே நேரத்தில் புவியை வந்தடைகிறது. இந்த விளேயே விரிவான காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு எனப்படும். எனவே, ஒன்றுக்கொன்று பல மீட்டர்கள் தொலேவில் வைக்கப்பட்ட துகள் உணர் கருவிகள் யாவும் ஒரே நேரத்தில் துகள்களே உணர்கின்றன.

விரிவான காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு, முதன்மை காஸ்மிக் கதிரைப் பொறுத்து இருப்பதால், இந்தப் பொழிவின் செறிவு இந் நிலவுலகு, மற்ற விண்மீன்களிலிருந்து எந்தத் திசையில் அமையும்போது, பெருமமாக இருக்கும் என்பதையறிந்தால், காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாயைக் காணலாம் என்பது தெளிவு. இதற்கான பல சோதனேகளின் முடிவில், முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள், எல்லாத் திசைகளிலிருந்தும் ஒரே செறிவில்தான் வருகின்றன என்றும், எந்தக் குறிப்பிட்ட திசை யையும் சிறப்பாக அது வரும் திசை (preferred direction) என்று கூற இயலாது என்றும் அறியப்பட்டது.

13.13 வான் ஆலன் பெல்ட் (Van Allen Belt)

விண்வெளியில் ராக்கட்டுகளேயும், துணேக் கோள்களேயும் செலுத்த முடிந்த பின்னர், வானவெளி ஆராய்ச்சியில் ஒரு புதிய சகாப்தம் உண்டாயிற்று எனலாம். 1957ஆம் ஆண்டு நவம்பர்த் திங்கள் 3ஆம் நாள் சோவியத் நாடு செலுத்திய ஸ்புட்னிக் II (Sputnik II), 1958ஆம் ஆண்டு அமெரிக்கா செலுத்திய எக்ஸ் புளோரர் (Explorer) I & III இவற்றில் கைகர் துகள் உணர் கருவிகள் பொருத்தப்பட்டிருந்தன. ஸ்புட்னிக்கில் பொருத்தப் பட்ட எண்ணி, விண்வெளியை யடையும்போது எந்த ஒரு மாறுதலேயும் காட்டவில்லே. ஆயினும், வான் ஆலன் என்ற அமெரிக்க நாட்டு விஞ்ஞானியின் தலேமையில் அமைந்த காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சிக் குழு, எக்ஸ்புளோரர் I, III இவற்றில் பொருத்திய கைகர் உணர் கருவிகள் ஏதோவொரு தனித் தன்மை யோடு செயல்படுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. 2000 கி.மீ. உயரத்தில் துணேக் கோள்கள் செல்லும்போது, கைகர் எண்ணிகள் செயல்படவில்லே. எனவே, இந்த உயரத்தில் கைகர் எண்ணி செயல்படாதிருக்கக் காரணம் என்ன என்பதை ஆராய்ந்தார் வான் ஆலன். இந்த உயரத்தில், காஸ்மிக் கதிர்களின் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் சிக்கி ஒரு நிலேயான தடத்தில் ஊர்கின்றன

என்ருர் அவர். இந்தத் துகள்களின் செறிவு மிக அதிகமானதால் கைகர் எண்ணி செயல்பட முடியவில்லை. புவியின் காந்தத் திருப்பு திறனுல், குறிப்பிட்ட திசைகளிலிருந்து குறிப்பிட்ட உந்தத்தில் வரும் துகள்கள், இவ்வாறு ஒரு தடத்தில் சிக்கிக்கொள்ளும் என்பதை ஸ்டார்மர், கணக்கியல் முறையில் தெளிவுபடுத்தியிருந்தார். சிக்கிய இந்தத் துகள்கள் புவிக் காந்த இரு முனையினை (geomagnetic dipole) எப்போதும் நிலையாகச் சுற்றிக் கொண்டேயிருக்கும். அவை தடத்தைவிட்டு வெளியேற முடியாது. இவ்வாறு இரு தடங்கள் இருப்பதை வான் ஆலன் கண்டுபிடித்தார். இந்தத் தடங்களில் உள்ள துகள்களின் தோற்றுவாய் எது என்பது இன்னமும் சரியாகத் தெரியவில்லை.

13.14 காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாய் (Origin of Cosmic Rays)

விண்வெளியிலிருந்து வீசும் காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாய் எது? முதலில் சூரியனும், அதற்கருகே இருக்கும் விண்மீன்களுமே காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாய் எனக் கருதப்பட்டதுண்டு. ஏனெனில், சூரியனின் கிளர்ச்சிச் செயல்பாட்டின்போது (Solar flares) காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு அதிகமாவதும் 11 வருடச் சுற்றில் (11-year cycle) காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவில் சீரொழுங்கு மாறுதல்கள் ஏற்படுவதும் இதற்கு ஆதாரமாகக் கொள்ளப்பட்டது. சூரிய, மற்றும் விண்மீன்களினிடையே பல மில்லியன் கிலோமீட்டர்களில் பரந்து கிடக்கும் காந்தப் புலம், இந்த காஸ்மிக் கதிர்களை முடுக்கும் ஆற்றல் பெற்றதாக அமைகிறது. ஆயினும், காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு குறிப்பிட்ட திசையில் பெருமமாக இராமல் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே அளவாக இருப்பது இந்தக் கொள்கைக்கு முரணுக அமைகிறது.

காஸ்மிக் கதிர்களின் பேராற்றலை விளக்க, ஃபெர்மி, மற்ருெரு வினையாக்கத்தை எடுத்துரைத்தார். நம் விண்மீன் மண்டலவெளியில் (Galactic Space) மிக அதிகமான அளவில் ஹைட்டிரஜன் வாயு அயனியாக்கப்பட்டுக் கிடக்கின்றது. அவை விண்மீன் மண்டல காந்தப்புலனில் சிக்கிக்கொண்டிருக்கின்றன. இந்த அயனிகள் ஒன்றுடனென்று மோதி, ஆற்றல் பங்கீடு நடைபெறுகிறது. காந்தப்புலத்திஞல் முடுக்கம் பெற்ற இந்தத் துகள்கள் உறுமிகை ஆற்றல் பெற்றனவாக ஆகின்றன. இவைதாம் நமக்குக் கிடைக்கும் காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாயாக இருக்கலாம் என்ருர் அவர். ஆயினும் காஸ்மிக் கதிர்கள் யாவும் நம் விண்மீன் மண்டல வெளியிலிருந்துதான் கிடைக்கின்றன என்று அறுதியிட்டுக் கூறமுடியவில்லை. ஏனெனில், முதன்மை காஸ்மிக் கதிர்கள் சிலவற்றின் ஆற்றல் 10^{19} ev வரை இருக்கின்றன. இந்த

அளவு ஆற்றல் பெற்ற துகள்களை நம் விண்மீன் மண்டல வெளியில் உள்ள காந்தப்புலத்திஞல் சிக்கவைக்க முடியாது. எனவே, காஸ்மிக் கதிர்கள், நம் விண்மீன் மண்டல வெளிக்கு அப்பாலிருந்தும் வருகின்றன என்று கொள்ளத்தக்கது.

விஞக்கள்

1. காஸ்மிக் கதிர்கள் என்பவை யாவை? அவற்றின் பொதுத் தன்மைகள் யாவை ?

2. இரண்டாம்நிலை காஸ்மிக் கதிர்களின் தன்மைகளை விவரி. (i) குத்துயர விளைவு, (ii) கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீரமையின்மை, (iii) குறுக்குக் கோட்டு விளைவு இவற்றை விவரிக்கவும்.

3. காஸ்மிக் கதிர்கள் ஆராய்ச்சி எங்ஙனம் புதிய அடிப்படைத் துகள்களைக் கண்டுபிடிக்க உதவியது என்பதை எடுத்துக்காட்டோடு விளக்கவும்.

4. தொடர் அடுக்கு விளைவை விவரிக்கவும்.

5. காஸ்மிக் கதிர்களின் தோற்றுவாய் எது ?

14. அடிப்படைத் துகள்கள்

14.1 முன்னுரை

20ஆம் நூற்றூண்டின் தொடக்கத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட எலக்ட்ரானும் அதையொட்டி பிறகு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட புரோட்டானும்தான் முதலில் அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப் பட்டன. நியூட்ரானும் அடிப்படைத் துகள்தாம் என்ற கருத்து சாட்விக்கின் சோதனைகளின்மூலம் தெரியவந்தது. குவாண்டம் கொள்கைப்படி ஃபோட்டானையும் ஒரு துகளாகக் கொண்டு மொத்தம் நான்கு அடிப்படைத் துகள்களைக் கொண்டு பருப் பொருள்களின் இயலமைப்பை விளக்க முடியும் என்று 1934ஆம் ஆண்டுவரை உறுதியாகக் கருதப்பட்டது. எனினும், குற்றெல்லை கொண்ட அணுக்கரு விசை அதுவரை இயற்பியலில் தெரிந்து கொண்ட ஈர்ப்பு விசை, நிலைமின் ஈர்ப்பு விசை, மற்றும் கதிரியக் கத்தினால் வெளியேறும் β-கதிர்கள், நியூட்ரினோ இவற்றிற்கிடையே செயல்படும் மென் செயலெதிர்ச் செயல்படு விசை (weak interactions) இவற்றின் பண்பைக் கொண்டிராமல், புதிய தன்மைகளைக் கொண்டு இருக்கிறது என்பது புலப்பட்டது. இப் புதிருக்கான விடையைக் காணச் செய்யப்பட்ட செய்முறைச் சோதனைகளின் முடிவுகளும் கொள்கைசார் விளக்கங்களும் அடிப்படைத் துகள் களைப்பற்றிய ஒரு புதிய துறை ஏற்பட வழிவகுத்தது.

14.2 μ-மெசான் கண்டுபிடிப்பு (Discovery of μ-Meson)

கடினக் கூறுகளின் தன்மையை, ஆண்டர்சனும் நெடர்மெயரும் (Neddermeyer) 1937ஆம் ஆண்டுத் தொடக்கத்தில் மிகத் தீவிரமாக ஆராய்ந்தார்கள். இந்த ஆராய்ச்சியின் பலனாகக் கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் வெளியாயின. (i) கடினக் கூறுகள் இழக்கும் ஆற்றல் முழுவதும் அயனியாக்கத்தில் மட்டுமே செல வழிக்கப்படுகின்றது; கதிர்வீச்சு முறையில் ஆற்றல் செலவழிய வில்லை. எனவே, கடினக் கூறுகள் எலக்ட்ரான்களாக இருக்க முடியாது. (ii) மேலும், முகிற்கலத்தில், கடினக் கூறினால்

செயலெதிர்ச் செயல்பட்டு வெளிப்படும் துகளுக்கான தடம், ஒரே துகளுக்கான பாதையாகவே இருக்கிறது. அதாவது இரட்டையாக்கம் நிகழ்வதில்லை. எனவே, கடினக்கூறு வெறும் ஃபோட்டான்கள் அல்ல. (iii) கடினக் கூறிலுள்ள துகள்கள் காந்தப் புலத்தினால் விலக்கப்படுகின்றன. அவற்றின் அயனியாக்கு திறன் எலக்ட்ரானின் திறனைவிடப் பன்மடங்கு அதிகமாகவும், புரோட்டானின் திறனைவிடக் குறைவாகவும் இருக்கிறது.

எனவே, இவற்றைக் கருத்தினுட் கொண்டு இந்தக் கடினக் கூறின் துகள்கள் உண்மையில் ஒரு புதிய துகள்வகை என்றும், அவை எலக்ட்ரான், பாசிட்ரான் போன்று ஓரலகு மின்னூட்டம் (unit charge) (+ அல்லது −) பெற்றவையென்றும், அவற்றின் நிறை எலக்ட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையே இருக்கிறது என்றும் எடுத்துரைத்தார்கள்.

பிற்காலத்தில் μ-மெசான் என்று பெயரிடப்பட்ட இந்தத் துகளின் உண்மையான நிறை $206{\cdot}8\ m_e$ ஆகும் (எலக்ட்ரான் நிறையைப்போல 206.8 மடங்கு). இது μ^+ அல்லது μ^- ஆகிய இரு நிலைகளிலும் இருக்கும் எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. உறுமிகை ஆற்றல் கொண்ட காஸ்மிக் கதிர்களால் தோற்றுவிக்கக்கூடிய அணுக்கரு வினைகள் பலவற்றைத் துகள் முடுக்கும் பொறிகளைக் கொண்டு ஆய்வுக்கூடத்தில் தோற்றுவிக்க முடிந்த நிலை வந்த பிறகு, இந்த μ-மெசான்களின் சராசரி ஆயுள் காலத்தையும், அவை சிதைவுறும் முறையையும் நன்கு அறிய முடிந்தது. μ-மெசான்கள், $2{\cdot}2$ மைக்ரோ செகண்டு சராசரி ஆயுட் காலத்தைக் கொண்டிருக்கின்றன என்று தெரியவந்தது. மேலும், அவை கீழ்க்கண்டவாறு சிதைவுறுகின்றன.

$$\mu^+ \longrightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$$

$e^+ \longrightarrow$ பாசிட்ரான்

$\nu \longrightarrow$ நியூட்ரினோ

$\bar{\nu} \longrightarrow$ ஆண்டி நியூட்ரினோ

$$\mu^- \longrightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$$

14.3 யுகாவாவின் மெசான் கொள்கை (Yukawa's Meson Theory)

மெசான்கள் செய்முறைகளால் உண்மையாகக் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு முன்பே, அவ்வாறான துகள்கள் இருக்கக்கூடும் என்பதை 1935ஆம் ஆண்டிலேயே யுகாவா என்ற ஜப்பான் நாட்டு விஞ்ஞானி எடுத்துரைத்தார். வீசும் கதிர்கள் யாவும் ஒரு நோக்கில் அலைகளின் பண்புகளைக் கொண்டனவாகவும், மற்றொரு நோக்கில் துகள் பண்புகளைக் கொண்டனவாகவும் இருப்பதைக்

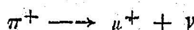
குவான்டம் கொள்கைப்படி விளக்கம் காணமுடிகிறது. ஃபோட்டான்களோடு இயைந்த அலைகள், மின்காந்த அலைகளாகும். துகள்களின் நிலைமின் விசைப்பண்புகளை, ஃபோட்டானின் செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மைகளால் விளக்க இயலும். குறிப்பாகப் புரோட்டான்களும் எலக்ட்ரான்களும் கூலும் விசையால் ஈர்க்கப் படும் செயலெதிர்ச் செயல் தன்மையை ஃபோட்டான் பண்புகளைக் கொண்டு விளக்கலாம். ஆயினும், அணுக்கருவினுள் உள்ள நியூட்ரான்கள் புரோட்டான்கள் இவற்றிற்கிடையே செயல்படும் குற்றெல்லை விசை தனித்தன்மையையுடையது. நியூட்ரான்கள் மின்னூட்ட மற்றவையாதலால், நியூட்ரான்களை ஒன்றுக் கொன்றும், புரோட்டானோடும் பிணைக்கும் விசை எத்தகையதாக இருக்கும்? குறுகிய எல்லையில் அந்த விசை மிக வலிமை கொண்டதாக இருக்கிறது. ஆயினும், இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு அதிகமானால் இந்த விசை வலிமையற்றுள்ளது. இவ்வகை விசைகளைப் பரிமாற்றுவிசை (Exchange forces) என்று ஹைசன்பர்க் (Heisenberg) குறிப்பிட்டார். யுகாவாவின் கூற்றுப்படி, நிலைமின் விசைகள் எவ்வாறு ஃபோட்டான் பண்புடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கிறதோ, அவ்வாறே, கருத் துகள்களுக்கிடையே இந்தப் பரிமாற்று விசையும், ஏதோ ஒரு துகள்வழி செயல்படும் பண்பைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். அந்தத் துகளின் இயற்பியல் பண்புகளைக் கணக்கிட்டார் அவர். ஏறத்தாழ எலக்ட்ரானைவிட 200 மடங்கு நிறை கொண்டதாகவும், அணுக்கருத் துகள்களுடன் தீவிரமாகச் செயலெதிர்ச் செயல்படக்கூடியதாகவும், 1 மைக்ரோ செகண்டு சராசரி வாழ்வுக்காலம் கொண்டதாகவும், அந்தத் துகள் சிதைவுறும்போது கிடைக்கும் துகள்கள் ஓர் எலக்ட்ரானும், ஒரு நியூட்ரினோவுமாகவும் இருக்கும் என்றார் அவர். இந்தத் துகளை 'அணுக்கரு விசைக் குவன்டா' (Quanta of the nuclear force field) என்று உரைத்தார் யுகாவா. (யுகான் என்று பெயரிடப்பட்ட இந்தக் குவான்டம் பிற்காலத்தில் மெசான் என்றழைக்கப் பட்டது.)

14.4 π-மெசான் கண்டுபிடிப்பும் அதன் பண்புகளும்

காஸ்மிக் கதிர்களில் முதன்முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மெசான்கள், யுகாவா தன் கொள்கையில், புனைந்துரைத்த மெசான்கள்தான் என்று ஆய்வாளர்கள் முதலில் நம்பினார்கள். ஆயினும், இதில் சில முரண்பாடுகள் தோன்றின. முதற்கண் μ-மெசான்களின் சராசரி வாழ்வுக்காலம் 2 மைக்ரோ செகண்டு. இது எதிர்பார்க்கப்பட்டதை விட மிக அதிகமானது. அணுக்கருவினுள் புகும் ஒரு μ-மெசான், இந்தநேரத்தில் பல மிலியன் முறை மோதலுற்றுக் கருத் துகள்களுடன் செயலெதிர்ச் செயல்

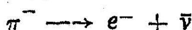
பட்டுச் சிதைவுறுதல் வேண்டும். μ^+ மெசான் புரோட்டான்களால் கூலும் எதிர்ப்பு விசையால் விலக்கப்படும் என்று கொண்டால் கூட μ^- மெசான்கள், இதே காரணத்தால், ஈர்க்கப் பட்டு, கருத் துகள்களோடு செயலெதிர்ச் செயல்பட்டுச் சிதைவுறுவது உறுதி. ஆயினும், செய்முறைச் சோதனைகளில் μ^- மெசான் கூட 2 மைக்ரோ செகண்டு சராசரி வாழ்வுக்காலம் பெற்றிருப்பதும் μ^+, μ^- இவற்றின் பருப்பொருளோடு செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மை மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. எனவே, யுகாவா குறிப்பிட்ட துகள்கள் இவை அல்ல என்பது உறுதியாகத் தெரிந்தது. குழப்பமான இந்தநிலை 1947ஆம் ஆண்டுவரை தொடர்ந்தது.

1947ஆம் ஆண்டு அணுக்கருப் பூச்சு முறையில் பவல் (Powell) ஒகியாலினி மற்றும் லாட்ஸ் (C.M.G. Lattes) என்ற விஞ்ஞானிகள் π-மெசான் என்றதொரு புதிய துகள் வகைகளைக் கண்டு பிடித்தனர். π^+, π^- என்ற இருவகை மெசான்கள் முதலில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டன. இவை μ-மெசானைவிட நிறை சற்றே அதிகமாகவும் பருப்பொருளோடு தீவிரமாகச் செயலெதிர்ச் செயல்படும் தன்மையுடையனவாகவும் இருந்தன. π-மெசான்களின் சராசரி வாழ்வுக்காலம் 10^{-8} செகண்டுகளாகும். π^+ மெசான், μ^+ மெசானுகவும் நியூட்ரினேவாகவும் சிதைவுறுகிறது.



$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu$$

π^- மெசான், எலக்ட்ரானுகவும், ஆன்டி நியூட்ரினேவாகவும் சிதைவுறும்.



$$\pi^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}$$

ஆயினும், பருப்பொருளின் அணுக்கருவைத் தாக்கும் π^- மெசான் இந்த 10^{-8} செகண்டிற்குள்ளாகவே அணுக்கருத் துகள்களுடன் செயலெதிர்ச் செயல்பட்டுக் கருத் துகள்களால் உட்கவரப்பட்டு விடுகின்றது.

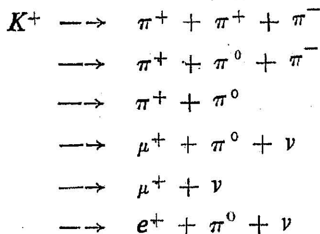
கலிபோர்னியா பல்கலைக் கழகத்தில் அமைந்த துகள் முடுக்கும் பொறிகளைக் கொண்டு 1950ஆம் ஆண்டு, மேலும் ஒரு மின்னூட்டமற்ற மெசான் (π^0) இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதன் சராசரி வாழ்வுக்காலம் மிகமிகக் குறைவானதே (10^{-16} sec). இது இரு காமாக் கதிர்களாகச் சிதைவுறும் தன்மை படைத்தது.

π^+, π^- இவைகளில் நிறை $273m_e$ ஆகவும் π^0ன் நிறை $264m_e$ ஆகவும் இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

14.5 K-மெசான்கள் கண்டுபிடிப்பும் அவற்றின் இயற்பியல் பண்புகளும் (K-mesons and their properties)

காஸ்மிக் கதிர்கள் ஆராய்ச்சிகள் சற்றும் எதிர்பாராவண்ணம், மேலும் பல அடிப்படைத் துகள்கள் இருப்பதைக் கண்டுபிடிக்க

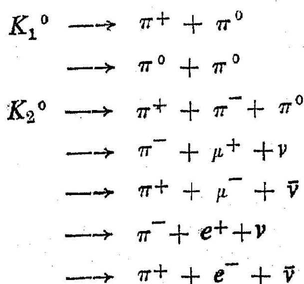
உதவின. இவற்றில் ஒன்று K-மெசான் வகையாகும். K^+ மற்றும் K^0 என்ற இருவகை மெசான்கள், முறையே $966m_e$ நிறையையும் $974m_e$ நிறையையும் கொண்டுள்ளனவென்று கண்டுபிடித்துள்ளார்கள். அவை சிதைவுறும் முறை பின்வருமாறு:



$$K^+ \longrightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$
$$\longrightarrow \pi^+ + \pi^0 + \pi^-$$
$$\longrightarrow \pi^+ + \pi^0$$
$$\longrightarrow \mu^+ + \pi^0 + \nu$$
$$\longrightarrow \mu^+ + \nu$$
$$\longrightarrow e^+ + \pi^0 + \nu$$

K^+-ன் சராசரி வாழ்வுக்காலம் $1 \cdot 22 \times 10^{-8}$ செகண்டுகளாகும். K^+ மெசானுக்கு K^- மெசான் என்ற ஆன்டி மெசான் இருப்பதும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

K^0 மெசான், $K_1{}^0$, $K_2{}^0$ என்ற இரு துகள்களாகக் கருதப்படுகின்றது. இவற்றின் சராசரி அரைவாழ்வுக் காலம், முறையே 1×10^{-10} செகண்டும், 6×10^{-8} செகண்டும் ஆகும்.
அவை சிதைவுறும் முறை,



$$K_1{}^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^0$$
$$\longrightarrow \pi^0 + \pi^0$$
$$K_2{}^0 \longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$$
$$\longrightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu$$
$$\longrightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}$$
$$\longrightarrow \pi^- + e^+ + \nu$$
$$\longrightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}$$

14.6 ஹைபரான்கள் (Hyperons)

புரோட்டான்களைவிட அதிக நிறையுள்ள அடிப்படைத் துகள்களை 'ஹைபரான்கள்' என்கிறோம். 1947ஆம் ஆண்டு ரோசஸ்டர் (Rochester) பட்லர் (Butler) இருவரும் Λ^0 என்ற ஹைபரானைக் கண்டுபிடித்தனர். பிறகு பல ஹைபரான்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அட்டவணை 14.1-ல் இந்த ஹைபரான்களின் நிறை, மற்றும் சராசரி வாழ்வுக் காலங்கள் தொகுத்துக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

அட்டவணை 14·1 — அடிப்படைத் துகள்கள்

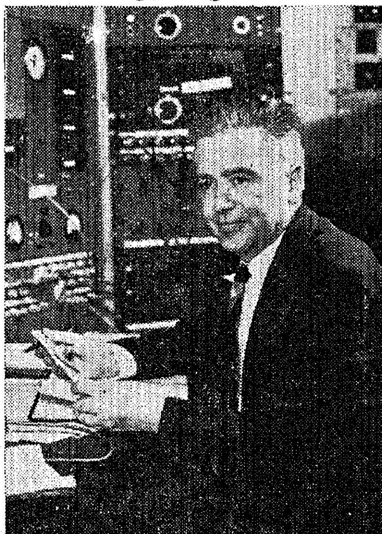
பெயர்	துகள்	எதிர்த் துகள்	நிறை m_e	சுழற்சி எண்	சராசரி வாழ்வுக் காலம் (செகண்டு)	வகை
ஃபோட்டான்	γ	(γ)	0	1	நிலையானது	ஃபோட்டான்
நியூட்ரினோ	ν	$\bar{\nu}$	0	$\frac{1}{2}$	நிலையானது	லெப்டான்கள்
எலக்ட்ரான்	e^-	e^+	1	$\frac{1}{2}$	நிலையானது	
மியூ-மெசான்	μ^-	μ^+	207	$\frac{1}{2}$	2.22×10^{-6}	
பை-மெசான்	π^+	π^-	273	0	$2\cdot54 \times 10^{-8}$	மெசான்கள்
	π^0	(π^0)	264	0	10^{-16}	
K-மெசான்	K^+	K^-	967	0	$1\cdot22 \times 10^{-8}$	
	K^0	$\bar{K}^0$	967	0	$10^{-10}; 6\times10^{-8}$	
புரோட்டான்	p	$\bar{p}$	1836	$\frac{1}{2}$	நிலையானது	பேரியான்கள்
நியூட்ரான்	n^0	$\bar{n}^0$	1839	$\frac{1}{2}$	$1\cdot11 \times 10^3$	
லாம்டா-ஹைபரான்	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	2182	$\frac{1}{2}$	$2\cdot5 \times 10^{-10}$	
சிக்மா-ஹைபரான்	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	2327	$\frac{1}{2}$	$0\cdot8 \times 10^{-10}$	
	Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	2341	$\frac{1}{2}$	$1\cdot6 \times 10^{-10}$	
	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	2329	$\frac{1}{2}$	10^{-12}	
கை-ஹைபரான்	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	2583	$\frac{1}{2}$	10^{-9} — 10^{-10}	
	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	2583	$\frac{1}{2}$	10^{-9} — 10^{-10}	

14.7 விந்தைத் துகள்கள் (Strange Particles)

Σ^0 போன்ற சில ஹைபரான்களும், K-மெசானும் சில விந்தையான பண்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவை எப்பொழுதுமே தனித்துகளாக உருவாக்கப்படுவதில்லை. இரண்டு அல்லது இரண்டுக்குமேல் அதிகமான துகள்களாகவே உருவாக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலம் கணக்கியல் கொள்கைப்படி எதிர்பார்க்கப்பட்டதைவிட 100 மிலியன் மடங்காவது அதிகமாக உள்ளன. ஒவ்வொரு விந்தைத் துகளையும் ஒரு 'விந்தைக் குவான்டம் எண்' (S) கொண்டு குறிப்பிடலாம். உறுமிகை ஆற்றல் அணு வினைகளில் உருவாகும் விந்தைத் துகள்கள் 'விந்தைக் குவான்டம் எண்', அழிவின்மைக் கொள்கையைத் துல்லியமாகக் கடைப்பிடிக்கின்றன. விந்தைத் துகள்கள் சிதைவுறும்போது அவை மென் செயலெதிர்ச் செயல் விளைவுகளில் 'விந்தைக் குவான்டம் எண்' அழிவின்மையைக் கடைப்பிடிப்பதில்லை. மாறாக, $S = \pm 1$ என்ற தெரிவு விதிகளின்படி வினை நடைபெறுகிறது.

14.8 எதிர்க்குறி ஆற்றல் பருப்பொருள்கள் (Antimatter)

டைராக் என்ற ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானியால் புனைந்துரைக்கப்பட்ட எதிர்க்குறி ஆற்றல் பெற்ற பருப்பொருள்கள், உண்மையிலேயே இருக்கின்றனவா என்ற கேள்விக்கு, ஆண்டர்சனின். 'பாசிட்ரான்' கண்டுபிடிப்பு சரியான விடையளித்தது. எலக்ட்ரானுக்குப் பாசிட்ரான் இருப்பதுபோலவே, புரோட்டான், நியூட்ரான் இவைகளுக்கும் முறையே ஆன்டி புரோட்டான், ஆன்டி நியூட்ரான் இவை இருக்கவேண்டும் என்று ஊகிக்கப்பட்டது. ஒரு துகளும் அதன் ஆன்டி துகளும் ஒன்றையொன்று நெருங்கும்போது அவை இணைந்து அவற்றின் நிறையழிந்து ஆற்றலாக மாறும் எனக் கண்டோம். E. செக்ரெயும் (E. Segre) ஆவன் சாம்பர்லெய்னும் (Owen Chamberlain) 1956ஆம் ஆண்டு ஆன்டி புரோட்டான் ஆன்டி நியூட்ரான்கள் இருப்பதைச் செய்முறைச் சோதனைகளின் வாயிலாக மெய்ப்பித்தார்கள்,



E. செக்ரே

அடிப்படைத் துகள்களின் சீரமைப்பண்புகள் ஒரு குறிப்பிட்ட கணக்கியல் சீரமைப்பு முறையில் (Sv_3 Symmetry) அமைந்திருக்கின்றன என்று கண்டுள்ளார்கள். ஆயினும், இயற்பியலில் இத் துகள்கள் ஒவ்வொன்றின் பங்கென்ன, அவற்றின் அடிப்படைப் பண்புகள் எந்தவிதத்தில் இயற்பியல் அடிப்படைக் கொள்கைகளை வரையறுத்துக் கொடுக்கின்றன என்பன போன்ற கேள்விகளுக்கு விடை காணும் முயற்சி மேலும் நடைபெற்றுக்கொண்டிருக்கிறது.

வினாக்கள்

1. π-மெசான்களின் இயல்பையும் பண்புகளையும் கூறுக.

2. μ-மெசான்களின் தன்மைகளைக் கூறுக? அவை ஏன் யுகாவா துகளாக இருக்க முடியாது என்பதை விளக்கவும்.

3. அடிப்படைத் துகள்களைப்பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுதவும்.

பிற்சேர்க்கை 1

தனிமங்களின் வினைப்பண்புகளைக் கருத்தில் கொண்டு, தனிம அட்டவணையின் தனிமங்கள் வகைப்படுத்திக் கீழே கொடுக்கப் பட்டிருக்கின்றன.

Class 1. Rare Gases
Class 2. Electropositive metals
Class 3. Non metals
Class 4. Transition metals
Class 5. Rare earths and Actinides
Class 6. Sub group metals

பிற்சேர்க்கை 2

அலகுகள்

இந்த நூல் முழுவதும் SI அலகுகள் (The Systeme internationale des unites) பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. 1960ஆம் ஆண்டு 'படித்தரம் நிர்ணயிக்கும் உலக நிறுவனம் (International Organization for Standardization) இந்த அலகுகளைத் தெரிந்தெடுத்தது. மெட்ரிக் முறையைச் சீர்படுத்தி அமைக்கப்பட்ட இந்த முறை எளியது; மற்றும் சிறப்பானது. ஒவ்வோர் இயற்பியல் அளவுக்கும் இந்த முறையில் ஒரே ஓர் அலகுதான் உண்டு. இரு இயற்பியல் அளவிற்கான அலகுகளின் பெருக்கல் அல்லது வகுத்தலில் கிடைக்கும் இயற்பியல் அளவுக்கான அலகாகும் என்பதும் வேறு புதிய மாறிலிகளை இடைச் செருகத் தேவையில்லை என்பதும் இந்த முறையில் உள்ள தனிச் சிறப்பாகும். 7 அடிப்படை அலகுகளையும், 2 கூடுதல் அலகுகளையும் அட்டவணை 1 கொடுக்கிறது.

இந்த அடிப்படை அலகுகளைக்கொண்டு (அட்டவணை 2, அட்டவணை 3) வழியலகுகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

அட்டவணை 1

வரிசை எண்	அளவு	அலகுகளின் பெயர்	அலகின் குறியீடு
1	நீளம் (Length)	மீட்டர் (Metre)	m
2	நிறை (Mass)	கிலோகிராம் (Kilogram)	kg
3.	நேரம் (Time)	செகண்டு (Second)	S
4.	மின்னோட்டம் (Electric Current)	ஆம்பியர் (Ampere)	A
5.	வெப்பநிலை (Temperature)	கெல்வின் (Kelvin)	K
6.	ஒளிவிளக்கச் செறிவு (Luminous intensity)	கன்டெலா (Candela)	cd
7.	பொருளின் அளவு (Amount of substance)	மோல் (Mole)	Mole
8.	கோணம் (Plane angle)	ரேடியன் (Radian)	rad
9.	திண்மக் கோணம் (Solid angle)	ஸ்டேரேடியன் (Steradian)	Sr

அட்டவணை 2

வரிசை எண்	இயற்பியல் அளவு	அலகின் பெயர்	அலகின் குறி	அலகின் வரையறை
1.	ஆற்றல் (Energy)	ஜோல் (Joule)	J	$kg\ m^2\ s^{-2}$
2.	விசை (Force)	நியூட்டன் (Newton)	N	$kg\ m\ s^{-2} = J\ m^{-1}$
3.	அழுத்தம் (Pressure)	பாஸ்கல் (Pascal)	Pa	$kg\ m^{-1}\ s^{-2} = N\ m^{-2}$
4.	திறன் (Power)	வாட் (Watt)	W	$kg\ m^2\ s^{-3} = J\ s^{-1}$
5.	மின்னூட்டம் (Electric charge)	கூலும் (Coulomb)	C	AS
6.	மின்னழுத்த வேறுபாடு (Potential difference)	வோல்ட் (Volt)	V	$kg\ m^2 s^{-3} A^{-1} = JA^{-1}\ s^{-1}$
7.	மின் தடை (Electric resistance)	ஓம் (Ohm)	Ω	$kg\ m^2\ s^{-3}\ A^{-2} = VA^{-1}$
8.	மின் கடத்தல் (Electric conductance)	சீமன்ஸ் (Siemens)	S	$kg^{-1}\ m^{-2}\ s^3\ A^2 = \Omega^{-1}$
9.	மின் ஏற்புதிறன் (Electric capacitance)	ஃபாரட் (Farad)	F	$A^2 S^4\ kg^{-1}\ m^{-2} = ASV^{-1}$
10.	காந்தப் பாயம் (Magnetic flux)	வெபர் (Weber)	Wb	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-1} = VS$
11.	மின் நிலைமம் (Inductance)	ஹென்றி (Henry)	H	$kg\ m^2 s^{-2}\ A^{-2} = VSA^{-1}$
12.	காந்தப்புலம் (Magnetic flux density)	டெஸ்லா (Tesla)	T	$kg\ s^{-2} A^{-1} = VSm^{-2}$
13.	ஒளிவிளக்கப் பாயம் (Luminous flux)	லூமன் (Luman)	Lm	cd sr
14.	ஒளியூட்டம் (Illumination)	லக்ஸ் (Lux)	Lx	$cd\ sr\ m^{-2}$
15.	அதிர்வெண் (Frequency)	ஹெர்ட்ஸ் (Hertz)	Hz	S^{-1}

அட்டவணை 3

வரிசை எண்	அளவு	SI அலகு	குறியீடு
1.	பரப்பு	சதுர மீட்டர்	m^2
2.	கொள்ளளவு	கன மீட்டர்	m^3
3.	அடர்த்தி	கிலோகிராம்/கன மீட்டர்	$kg\ m^{-3}$
4.	திசைவேகம்	மீட்டர்/செகண்டு	$m\ s^{-1}$
5.	கோணத் திசைவேகம்	ரேடியன்/செகண்டு	$rad\ s^{-1}$
6.	முடுக்கம்	மீட்டர்/செகண்டு^{2}	$m\ s^{-2}$
7.	பாகியல்	பாஸ்கல்/செகண்டு	$Pa\ s$
8.	மின்புலம்	வோல்ட்/மீட்டர்	$V\ m^{-1}$
9.	காந்தப்புலம்	ஆம்பியர்/மீட்டர்	$A\ m^{-1}$
10.	ஒளி விளக்கம்	கன்டெலா/சதுர மீட்டர்	$cd\ m^{-2}$
11.	வெப்ப ஏற்புதிறன்	ஜோல்/கெல்வின்	$J\ K^{-1}$
12.	வெப்பக் கடத்துதிறன்	வாட்/மீட்டர்-கெல்வின்	$W\ m^{-1}\ K^{-1}$
13.	பரப்பு விசை	நியூட்டன்/மீட்டர்	$N\ m^{-1}$

சில SI அலகுகள் மிகப் பெரியனவாகவோ அல்லது மிகச் சிறியனவாகவோ இருக்கின்றன. எனவே, கீழ்க்கண்ட முன்னிடு குறியீடுகளை அடிப்படை அலகுக்கு முன் பயன்படுத்துதல் முறை.

அட்டவணை 4

பின்னம்	முன்னிடு அலகு	குறியீடு	பெருக்கல்	முன்னிடு அலகு	குறியீடு
10^{-1}	டெசி	d	10	டெகா	da
10^{-2}	சென்டி	c	10^{2}	ஹெக்டோ	h
10^{-3}	மில்லி	m	10^{3}	கிலோ	k
10^{-6}	மைக்ரோ	μ	10^{6}	மெகா	M
10^{-9}	நானோ	n	10^{9}	கெய்கா	G
10^{-12}	பைக்கோ	p	10^{12}	டெரா	T
10^{-15}	ஃபெம்டோ	f			
10^{-18}	ஆட்டோ	a			

தொன்றுதொட்டு வழக்கிலிருந்துவரும் சில அலகுகள் SI அலகின் 10-ன் மடங்காக (powers of ten) அமைந்துள்ளன. ஆயினும், இன்னும் வழக்கில் இருந்துகொண்டிருக்கும் இவை அட்டவணை 5-ல் SI அலகுகளுடன் அவற்றிற்கான தொடர்புடன் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

அட்டவணை 5

இயற்பியல் அளவு	பெயர்	குறியீடு	SI அலகுடன் தொடர்பு
நீளம்	ஆங்ஸ்ட்ராம்	Å	10^{-10}m
	மைக்ரான்	μm	10^{-6}m
பரப்பு	ஹெக்டேர்	ha	$10^{4}m^{2}$
கொள்ளளவு	லிட்டர்	l	$10^{-3}m^{3}$
நிறை	டன்	t	10^{3}kg
விசை	டைன்	dyne	10^{-5}N
அழுத்தம்	பார்	bar	10^{5}pa
ஆற்றல்	எர்க்	erg	10^{-7}J
பாகியல்	பாய்ஸ்	p	10^{-1}Pa s
காந்தப்பாயம்	மாக்ஸ்வெல்	Mx	10^{-8}Wb
காந்தப்புலம்	காஸ்	G	10^{-4}T

பொதுவாக, அலகுகளின் பெயரையும் அவற்றின் குறியீடுகளையும் முறையே ஆங்கிலச் சொற்றொடர்களாலும், ஆங்கில எழுத்துகளாலும் நேரடியாகக் குறிப்பதே முறை.

பிற்சேர்க்கை 3

SI அலகில் சில இயற்பியல் மாறிலிகளின் மதிப்புகள்

1.	எலக்ட்ரான் மின்னூட்டம் (Electronic charge)	$e = 1.60210 \times 10^{-19}$ c
2.	எலக்ட்ரான் ஓய்வுநிலை நிறை (Electron rest mass)	$m_e = 9.10908 \times 10^{-31}$ kg
3.	ஒளியின் வேகம் (Speed of light)	$c = 2.997925 \times 10^{8}$ m s^{-1}
4.	அவகாட்ரோ எண் (Avogadro's number)	$N_A = 6.02252 \times 10^{23}$ mol^{-1}
5.	பிளாங்க் மாறிலி (Planck's constant)	$h = 6.62559 \times 10^{-34}$ Js
6.	புரோட்டான் ஓய்வுநிலை நிறை (Proton rest mass)	$m_P = 1.67252 \times 10^{-27}$ kg
7.	நியூட்ரான் ஓய்வுநிலை நிறை (Neutron rest mass)	$m_n = 1.67482 \times 10^{-27}$ kg
8.	எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட நிறைதகவு (Electronic charge to mass ratio)	$e/m_e = 1.758796 \times 10^{11}$ c kg^{-1}
9.	புரோட்டான், எலக்ட்ரான் நிறைதகவு (Proton to electron mass ratio)	$m_p/m_e = 1836.10$
10.	போரின் முதல் ஆரம் (First Bohr radius)	$a_0 = 5.29167 \times 10^{-11}$ m
11.	போல்ட்ஸ்மேன் மாறிலி (Boltzmann's constant)	$k = 1.38054 \times 10^{-23}$ $J^{o}K^{-1}$
12.	போர் மாக்னெடான் (Bhor magneton)	$\mu_B = 9.2732 \times 10^{-24}$ JT^{-1}
13.	நிறை மாற்றுத்தொடர்புகள் (Mass conversion factors)	$1 eV = 1.60210 \times 10^{-19}$ J $1\ m_u = 931.478$ Mev
14.	ரிட்பெர்க் மாறிலி (Rydberg constant)	$R_\infty = 1.0973731 \times 10^{7}$ m^{-1}
15.	வெற்றிடத்தின் மின் கடத்துதிறன் (Permittivity of free space)	$\epsilon_0 = 8.85424 \times 10^{-12}$ Farad m^{-1}
16.	வெற்றிடத்தின் காந்த உட்புகு திறன் (Permeability of free space)	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Henry m^{-1}

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்
(Bibliography)

1. அணு இயற்பியல், கா. வே. சுப்ரமணியம், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

2. புதுமை பௌதிகம் (இரண்டாம் பகுதி), ஜே. பி. ராஜம், தமிழாக்கம், கா. வே. சுப்ரமணியம், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

3. புதுமை பௌதிகம் (மூன்றும் பகுதி), ஜே. பி. ராஜம், தமிழாக்கம் இரா. நாகராசன், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

4. துகள் முடுக்கும் பொறிகள்—டாக்டர் பி. திருஞான சம்பந்தம், ப. சிவக்குமார், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

5. நியூட்ரான் இயற்பியல், இரா. நாகராசன், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

6. **Atomic Energy**—S. Glasstone, Van Nostrand

7. **Atomic and Nuclear Physics**—T. A. Littlefield & N. Thorley, Van Nostrand, London.

8. **Concepts of Modern Physics** — A. Beiser, McGraw Hill.

9. **Introduction to Atomic and Nuclear Physics**—H. E. White, Van Nostrand : East-West Press.

10. **Introduction to Nuclear Physics**—Harald Enge, Addison-Wesley Publishing & Co.

11. **Nuclear Physics**—A. E. S. Green, McGraw Hill.

12. Nuclear Physics — I. Kaplan, Addison - Wesley Publishing Co.

13. Counting tubes – Theory and Application—S. C. Curran & J. D. Craggs, Butter Worths Scientific Publications, 1949.

14. The Atomic Nucleus — D. Evans, McGraw Hill Book Co.

15. Cosmic Rays—B. Rossi, George Allen & Unwin Co.

16. Cosmic Rays—Arthur Beiser, Phonix.

17. Elementary Nuclear Physics—H. A. Bethe & P. Morrison, John Wiley & Co.

கலைச்சொற்கள்

A

Absorption coefficient — உட்கவர் எண்
Absorption, exponential — எக்ஸ்பொனென்ஷியல்வகை உட்கவர்தல்
Abundance ratio — செழிப்பு விகிதம்
Accelerator — முடுக்கி
Allowed transition — முறையான வீச்சு
Alternating gradient — இருவாட்டம்
Alternating gradient synchrotron — இருவாட்டந்தரு சின்க்ரோட்ரான்
Alternating magnetic field — மாறுகின்ற காந்தப்புலம்
Altitude effect — குத்துயர விளைவு
Angular momentum — கோண உந்தம்
Anti coincidence — எதிர் ஒன்றிப்பு
Anti particles — ஆன்டி துகள்கள், எதிர்த் துகள்கள்
Artificial radioactivity — செயற்கைக் கதிரியக்கம்
Auger effect — ஆகர் விளைவு
Automatic counter — தானியங்கு எண்ணி
Azimuthal angle — திசைக் கோணம்

B

Band Theory of solids — திடப் பொருள்களின் ஆற்றல் பட்டைக் கொள்கை
Baryon — பேரியான்
Betatron — பீட்டாட்ரான்
Betatron relation — பீட்டாட்ரான் தொடர்பு
Binding energy — பிணைப்பாற்றல்
Bohr magneton — போர் மாக்னெடான்
Bremmstrahlung radiation — ப்ரம்ஸ்ட்ராலங் கதிர்வீச்சு
Bubble chamber — குமிழ்க்கலம்

C

Capacitance — மின் ஏற்புதிறன் அல்லது மின் தேக்குதிறன்
Carbon-nitrogen cycle — கார்பன் நைட்ரஜன் சுற்று
Cascade Theory of Showers — பொழிவின் அடுக்குத்தொடர்க் கொள்கை
Cathode follower — கேதோடு பின்பற்றி
Cerenkou counter — செரென்காவ் எண்ணி
Close packing — நெருக்கியமைப்பு
Cloud chamber — முகிற்கலம்
Cockraft Walton machine — காக்ராஃப்ட் வால்டன் பொறி
Compound nucleus — கூட்டணுக் கரு
Compton effect — காம்ப்டன் விளைவு
Conservation Laws in Physics — இயற்பியலின் அழிவின்மைக் கொள்கைகள்
Critical assembly — மாறுநிலைத் தொகுப்பு
Critical size — தீர்வு கட்டப் பருமன், மாறு நிலைப் பரிமாணம்
Cross-section — வாய்ப்பு; முகப்பரப்பு
—, absorption — உட்கவர் வாய்ப்பு
—, capture — வசப்படுத்து வாய்ப்பு
—, fission — பிளவை வாய்ப்பு
—, reaction — வினை வாய்ப்பு
—, scattering — சிதறல் வாய்ப்பு
—, total — முழு வாய்ப்பு
Crystal counter — படிக (உணர்கருவி) எண்ணி
Crystal Spectrometer — படிகமாலைமானி
Cyclotron — சைக்ளோட்ரான்

D

Dead time — செயல்படா நேரம்
Decay constant — தேய்வு எண்
Dees — டீக்கள்
Defocussing — குவிதல் அகற்றல்
Depletion layer — மின் துகள் குறைந்த மண்டிலம்
Detectors — கண்டு பகுப்பான்கள், கண்டு பகுக்கும் கருவிகள், காட்டிகள்
Diffused junction — விரவலாக்கிய சந்திப்பு

Diffusion cloud chamber — விரவல் முகிற்கலம்
Dipole — இருமுனை
Disintegration — சிதைவு
—, artificial — செயற்கைச் சிதைவு
—, energy — ஆற்றல் சிதைவு
—, noncapture — வசப்படுத்தாச் சிதைவு
—, photo — ஒளிப்பயன் சிதைவு
Diurnal variations — நாள்முறை மாறுதல்கள்
Doping — ஊடிடுதல்
Doughnut shape — வளைபந்து வடிவம்
Droplet — திவலை

E

Earth's magnetic lines of force— புவிக்காந்தப்புல விசைக் கோடுகள்
East-west asymmetry — கிழக்கு-மேற்குச் சமச்சீர் அமைவின்மை
Elastic collision — மீண்டெழு மோதல்
Electron injector — எலக்ட்ரான் செலுத்தி
Electron synchrotron — எலக்ட்ரான் சின்க்ரோட்ரான்
Electrostatic potential — நிலை-மின் அழுத்தம்
Empirical Law — அனுபவ விதி
Endo-ergic reaction — ஆற்றல் உட்கவர் வினை
End point in β-spectra — β ஆற்றல் மாலையின் வரம் பெல்லை
Energy balance — ஆற்றல் சரியீடு
Energy statesh — ஆற்றல் மட்டங்கள்
Enriched — வளமூட்டப்பட்ட
Equilibrium — சமநிலை
Excitation energy — கிளர்ச்சி ஆற்றல்
Expansion ratio — கொள்ளளவு அதிகரிப்புத் தகவு, பெருக்கத் தகவு
Exponential — எக்ஸ்பொனென்ஷியல்
Extensive air showers — விரிவான காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு
Extrinsic semi conductors — புறம்சார் குறைகடத்தி

F

Fast-fission reactor — விரைவு நியூட்ரான் பிளவு அணு உலை

Fermi-Curie plot — ஃபெர்மி-கியூரி வரைபடம்
Fine structure — நுண்ணமைப்பு
Fluorescence — உடன் ஒளிர்தல்
Fluorescent screen — ஒளிர்திரை
Flux density — பாய அடர்த்தி
Forbidden gap — தவிர்க்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி
Forbidden lines — தவிர்க்கப்பட்ட வரிகள்
Fractional crystallisation — வகுத்துப் படிகமாக்கல்
Fragments — சிதறல் துண்டுகள்
Fundamental particles — அடிப்படைத் துகள்கள்
Fundamental unit — அடிப்படை அலகு
Fusion — இணைவு, சேர்க்கை

G

Gas counters — வாயுத் துகள் உணர்விகள், எண்ணி
Galaxy — விண்மீன் மண்டலம்
Geiger counter — கைகர் எண்ணி
Geomagnetic effect — புவிக்காந்த விளைவு
Grain — நுண்குறுநொய்
Ground state — புவிமட்டம், அடிமட்டம்
Group — குழு, தொகுதி

H

Half integer — அரை எண்
Half life — அரை ஆயுட்காலம்
Hard component — கடினக்கூறு
Heavy water — கன நீர்
High frequency generator — உயர் அதிர்வெண் இயற்றி
Hole — மின்துளை (பொந்து)
Hydrogenous material — நீர்மப் பொருள்கள்
Hyperfine structure — மீநுண் வரியமைப்பு
Hyperons — ஹைபரான்கள்

I

Identity — தனித்துவம்
Impurity — வேற்றுப்பொருள்
Impulse — கணத்தாக்கு

Independent particle model — தனித்துகள் படிவம்
Induced radioactivity — செயற்கைக் கதிரியக்கம்
Inert gas — மந்தவாயு
Integral nuclear charge — முழு எண் அணுக்கரு மின்னூட்டம்
Interaction energy — செயலெதிர்ச் செயல் ஆற்றல்
Internal conversion — உள்ளிட மாற்றம்
Internal symmetry — அகச் சீரமைப்பு
Interstellar space — விண்மீன் வெளி
Intrinsic semi-conductors — உள்ளார்ந்த குறைகடத்திகள்
Ionisation chamber — அயனிக்கலம்
Ionisation potential — அயனியாக்க ஆற்றல்
Ionisation power — அயனியாக்கு திறன்
Ion sources — அயனி மூலங்கள்
Irradiation — ஒளியூட்டல்
Isobar — ஐசோபார்
Isobaric spin quantum number — ஐசோபாரிக் சுழற்சிக் குவான்டம் எண்
Isomerism — ஐசோமர் வடிவங்கள்

K

K-electron capture — K-எலக்ட்ரான் வசப்படுத்துதல்

L

Latitude effect — குறுக்குக் கோட்டு விளைவு
Lead — காரீயம்
Leak resistance — கசிவு மின்தடை
Light quanta — ஒளிக் குவான்டா
Limiting value — வரம்பு மதிப்பு
Linear accelerator — நேரியல் துகள் முடுக்கி
Liquid nitrogen — திரவ நைட்ரஜன்
Liquid drop model — திரவத் திவலைப் படிவம்
Logarithm — லாகரிதம்
Low power microscope — குறைந்த திறன் நுண்ணோக்கி

M

Magic number — புதிர் எண்
Magnetic deflection — காந்த விலக்கம்

Magnetic flux — காந்தப் பாயம்
Magnetic permeability — காந்த உட்புகு திறன்
Magnetic saturation — காந்தத் தெவிட்டுநிலை
Magnetic spectrograph — காந்தப்புல ஆற்றல்மாலை வரைவி
Mass defect — நிறை குறைபாடு
Mass number — நிறை எண்
Mass spectrograph — நிறைமாலை வரைவி
Mean life — சராசரி ஆயுட்காலம், சராசரி வாழ்வுக் காலம்
Meson — மெசான்
Miller Indices — மில்லர் சுட்டு எண்
Mobility — இயங்குதிறன்
Moderators — தணிப்பான்கள்
Modulation — அலைப் பண்பேற்றம்
Moment — திருப்புதிறன்
—, magnetic — காந்தத் திருப்புதிறன்
—, nuclear magnetic — அணுக்கரு காந்தத் திருப்பு திறன்
Mono energetic neutrons — ஒரே ஆற்றல் நியூட்ரான்கள்
Multiplification factor — பெருக்க எண்

N

Natural — இயல்பான
Natural radioactivity — இயற்கைக் கதிரியக்கம்
Negative energy states — எதிர்க்குறி ஆற்றல் நிலைகள்
Neutrino — நியூட்ரினோ
Neutrons — நியூட்ரான்கள்
—, fast — விரைவு நியூட்ரான்கள்
—, fission — பிளவை நியூட்ரான்கள்
—, thermal — வெப்பவியல் நியூட்ரான்கள்
—, slow — மந்த நியூட்ரான்கள்
N.T.P. — இயல்பான வெப்ப அழுத்தநிலை
Nuclear emulsion — அணுக்கருப் பூச்சு
Nuclear fission — அணுக்கருப் பிளவை
Nuclear forces — அணுக்கரு விசைகள்
Nuclear models — அணுக்கருப் படிவங்கள்
Nuclear spin — அணுக்கருச் சுழற்சி
Nucleon — கருத்துகள்

O

Orbital quantum — சுற்றுப்பாதைக் குவாண்டம்
—, number — —, எண்
Orbital stability — தடநிலைப்பாடு
Origin — தோற்றுவாய்
Oscillator — அலைவான், அலைவியற்றி, அலைவி

P

Packing fraction — பொதிவுப் பின்னம்
Pair production — இரட்டைத்துகள் ஆக்கம்
Paralysis time — முடக்கு நேரம்
Parity — பாரிடி
Particle accelerators — துகள் முடுக்கும் பொறிகள்
Pauli's Exclusion Principle — பவுலியின் தவிர்த்தல் விதி
Periodic table of elements — தனிம அட்டவணை
Permanent equilibrium — நிலைப்பாடுடைய சமநிலை
Phase — கலைக்கோணம்
Phase stability — கலைக்கோண நிலைப்பாடு
Phosphorescene — நின்றொளிர்தல்
Photo disintegration — ஒளிப்பயன் சிதைவு
Photo electric effect — ஒளி-மின் விளைவு
Photo multiplier — ஒளிபெருக்கி
Pitche blende — பிட்ச் பிளண்டி கனிமப் பொருள்
Plateau region — மின்னழுத்தம் சாராத சமவெளி
Positron — பாசிட்ரான்
Potential barrier — மின்னழுத்த அரண்
Probability — நிகழ்திறன்
Primary Cosmic Rays — முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்கள்
Projection — வீழ்ச்சி
Proportional counter — விகித எண்ணி
Proton Synchrotron — புரோட்டான் சின்க்ரோட்ரான்
Pulse height — துடிப்புயரம்

Q

Qualitative — பண்பு சார்ந்த
Quantum states — குவாண்டம் ஆற்றல் நிலைகள்

Quasi-stationary states — ஓரளவு நிலைப்பாடுடைய நிலைகள்

Quenching gas — தணிக்கும் வாயுக்கள்

R

Radiative capture (reaction) — கதிர்வீச்சு வசப்படுத்து வினை

Radioactive dating — கதிரியக்கக் கால மதிப்பீடு

—, element — கதிரியக்கத் தனிமம்

—, tracers — கதிரியக்க மெய்யூடகங்கள்

Range — செல்தொலைவு, இயங்கெல்லை, நெடுக்கம்

Rate of disintegration — சிதைவு வீதம்

Reaction — வினை

—, chain — தொடர்வினை

—, exchange — பரிமாற்றுவினை

—, electron induced — எலக்ட்ரானால் தூண்டப்பட்ட கருவினை

—, stripping — உரிக்கும் கருவினை

—, substitutional — பதிலீட்டு வினை

Reactor — அணு உலை

—, thermal — வெப்பவியல் அணுஉலை

—, epithermal — வேக நியூட்ரான் அணுஉலை

—, breeder — பிளவைப் பொருள் வளர் அணுஉலை

—, fast — விரைவு அணுஉலை

Recoil — பின்னெழு

Relativistic wave machanics — சார்பியல் அலைவிசையியல்

Resolving power — பகுதிறன்

Resolving time — பகு நேரம்

Resonance accelerator — ஒத்திசை முடுக்கி

S

Sargent curves — சார்ஜன்ட் வரைபடம்

Saturation — தெவிட்டு நிலை

Scattering — சிதறல்

—, coefficient — சிதறல் எண்

—, coherent — ஒரிசைச் சிதறல்

—, elastic — மீண்டெழு சிதறல்

Scintillation — மினுமினுப்பு

—, counter — மினுமினுப்பு எண்ணி

Secondary cosmic rays — இரண்டாம்நிலைக் காஸ்மிக் கதிர்கள்
Secondary ionisation — இரண்டாம்நிலை அயனியாக்கம்
Secondary radiations — இரண்டாம்நிலைக் கதிர்வீச்சு
Semiconductors — குறை கடத்திகள்
Selection rules — தேர்வு விதிகள்
Shell model — மண்டலப் படிவம் (கூடு மாதிரியமைப்பு)
Short range attractivc force — குற்றெல்லை ஈர்ப்பு விசைகள்
Shower — பொழிவு
Soft component — மென்கூறு
Spark chamber — மின்பொறிக்கலம்
Spin — சுழற்சி
Spontaneous — தன்னிச்சையான
Stable orbits — நிலைத்தடங்கள்
States — நிலைகள்
—, even — இரட்டைப்படை நிலைகள்
—, odd — ஒற்றைப்படை நிலைகள்
Statistics — புள்ளியியல்
—, Bose-Einstein — போஸ்-ஐன்ஸ்டீன் புள்ளியியல் பண்பு
—, Fermi-Dirac — ஃபெர்மி-டைராக் புள்ளியியல் பண்பு
Stellar energy — விண்மீன் வீசு ஆற்றல்
Stopping power — நிறுத்து திறன்
Surface tension oscillations — பரப்பு விசை அலைவுகள்
Symmetric fission — சீர் பிளவை
Synchrotron — சின்க்ரோட்ரான்

T

Thermo nuclear energy — வெப்ப அணுக்கரு ஆற்றல்
Threshold energy — பயன் தொடக்க ஆற்றல்
Time constant — கால மாறிலி
Transient equilibrium — நிலையற்ற சமநிலை
Transmutation of elements — தனிம மாற்றம்
Transuranic — யுரேனிய மூர்ந்த

U

Unit — அலகு
Universe — இயலுலகு

V

Valence band — இணைதிறப் பட்டை
Van Allen Belt — வான் ஆலன் பெல்ட்
Velocity selector — திசைவேகத் தேர்வி
—, Crystal — படிகத் திசைவேகத் தேர்வி
—, Mechanical — இயந்திரத் திசைவேகத் தேர்வி
—Selector, Time of flight — செல்நேரத் திசைவேகத் தேர்வி
Volume energy — கொள்ளளவு ஆற்றல்

W

Wave mechanics — அலையியக்க இயல்
Weak interaction — மென் செயலெதிர்ச் செயற்பாடு

Z

Zeeman effect — சீமன் விளைவு
Zenith angle — உச்சிக்கோணம்